

**METODOLOGIA PARA LA FORMULACION DE UN PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO PARA LOS MOTORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE YUMBO**

**JOSE FERNANDO PUENTES ESPINOSA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**METODOLOGIA PARA LA FORMULACION DE UN PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO PARA LOS MOTORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE YUMBO**

**JOSE FERNANDO PUENTES ESPINOSA**

Pasantía para optar el título de Ingeniero Electricista

**Director  
HUMBERTO GIRONZA  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**Nota de aceptación:**

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar el título de Ingeniero Electricista

Ing. JOSE KENJI WATANABE

**Jurado**

Santiago de Cali, 22 de Enero de 2008

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCION	12
1. ANTECEDENTES DEL TEMA	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. OBJETIVO GENERAL	16
1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2. MOTOR DE INDUCCION	17
2.1. EL ESTATOR	19
2.2. EL ROTOR	20
3. CONCEPTO DE MANTENIMIENTO	22
3.1. EL POR QUÉ DEL MANTENIMIENTO	22
3.2. EL FIN DEL MANTENIMIENTO	22
3.3. VARIABLES DEL MANTENIMIENTO	23
3.4. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	24
3.5. TIPOS DE MANTENIMIENTO	25
3.5.1. Mantenimiento después de que el equipo se ha dañado Mantenimiento correctivo	26
3.5.2. Mantenimiento preventivo	26
3.5.3. Mantenimiento predictivo	27
3.5.4. Mantenimiento productivo total (PTM)	28

	Pág.
3.5.5. Mantenimiento dirigido a la confiabilidad (R C M)	29
3.5.6. Mantenimiento alterno	31
3.5.7. Mantenimiento de oportunidad	31
3.5.8. Mantenimiento de mejora	31
3.5.9. Mantenimiento pro activo	31
4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	33
4.1. COMO CREAR UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	33
4.2. METAS DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	34
4.3. TECNOLOGIAS DEL MANTENIMIENTO DIRIGIDOS A LA EFICIENCIA	37
4.4. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	37
4.4.1. Papel de la gestión de mantenimiento	37
4.4.2. Implementación de la gestión en mantenimiento	37
4.4.3. Análisis de la situación	38
4.4.4. El Plan de mantenimiento	38
4.4.5. Plan estratégico	39
4.4.6. Metodología para la definición del plan estratégico	39
4.4.7. Análisis del plan estratégico	39
4.4.8. Índices de mantenimiento	40
4.4.9. Gestión	47

	Pág.
5. COSTOS DE MANTENIMIENTO	49
5.1. LOS COSTOS Y SU DIVISIÓN	49
5.1.1. Costos fijos	49
5.1.2. Costos variables	50
5.1.3. Costos financieros	50
5.1.4. Costo por falla	51
5.1.5. Costo total de mantenimiento	51
6. DESCRIPCION DEL EQUIPO MOTOR DE LA PTAP	52
7. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA PTAP	58
7.1. PROGAMA DE MANTENIMIENTO DIRIGIDO A LA EFICIENCIA	58
7.1.1. Operación	59
7.1.2. Mantenimiento	60
7.1.3. Soporte de Ingeniería	60
7.1.4. Entrenamiento	60
7.1.5. Administración	61
7.1.6. El programa de mantenimiento propuesto para la PTAP	61
7.2. ANALISIS O PRUEBAS A REALIZAR EN LOS MOTORES DE LA PTAP	71
7.2.1. El análisis de vibraciones	71

	Pág.
7.2.2. Termografia	72
7.2.3. Alineación	78
8. RECOMENDACIONES	80
9. CONCLUSIONES	82
BIBLIOGRAFIA	83

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Posibles indicadores de mantenimiento	36
Tabla 2. Indicadores de mantenimiento	46
Tabla 3. Descripción del equipo motor de la PTAP	52
Tabla 4. Datos de corriente del equipo motor	63
Tabla 5. Frecuencias de mantenimiento	64
Tabla 6. Aspectos selectivos del mantenimiento	65
Tabla 7. Aspectos directivos el mantenimiento	66
Tabla 8. Aspectos generales del mantenimiento y selección de equipos	67
Tabla 9. Funciones del lubricante	68
Tabla 10. Cuadro de Fallas	74
Tabla 11. Planta Acueducto Yumbo	75



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Motor de inducción de a.c.	17
Figura 2. Disposición interna de un motor de inducción de a.c.	18
Figura 3. Estator de un motor de inducción de a.c.	20
Figura 4. Rotor de un motor de inducción de a.c.	21
Figura 5. Eficiencia, eficacia y efectividad	47
Figura 6. Equipo motor circuito Bellavista	52
Figura 7. Motor numero 2, circuito Bellavista	53
Figura 8. Motor numero 3, circuito Bellavista	53
Figura 9. Equipo motor circuito Cruces	54
Figura 10. Motor numero 1, circuito Cruces	54
Figura 11. Motor numero 2, circuito Cruces	55
Figura 12. Motor numero 3, circuito Cruces	55
Figura 13. Tablero de control de motores	56
Figura 14. Celda de protección del grupo motor	56
Figura 15. Banco de condensadores del grupo motor	57
Figura 16. Programa de administración energética Vs Consumo de energía	58
Figura 17. Efecto del mantenimiento sobre el consumo de energía	59

Figura 18. Motor con suciedad acumulada	62
Figura 19. Nivel y temperatura del aislamiento	70
Figura 20. Prueba de termografía a un motor trifásico	73
Figura 21. Informe inspección termografica PTAP	76
Figura 22. Informe inspección termografica PTAP	77

## **RESUMEN**

Este documento contiene la descripción de las metodologías aplicadas al Mantenimiento de los equipos industriales, haciendo énfasis al mantenimiento aplicado a los motores eléctricos trifásicos de inducción pertenecientes a la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Yumbo.

Los objetivos que se desean alcanzar con este trabajo de Grado, son la obtención de un material bien explícito de las distintas metodologías que se aplican en la formulación de un Plan de Mantenimiento y presentar recomendaciones para cubrir la necesidad de continuidad del servicio de acueducto, buscando el más alto grado de eficiencia en el proceso de bombeo de agua Potable, en el sector de laderas del Municipio de Yumbo.

Con este escrito, se pretende dar la importancia del mantenimiento a las máquinas eléctricas rotativas (motores trifásicos de inducción) y ver la gestión del mantenimiento en una forma gerencial, donde desaparece el concepto antiguo de "apaga incendios" cuando se presentaba una falla en un equipo y lograr integrar todas las herramientas que posee la nueva teoría del mantenimiento para que un equipo sea confiable y seguro en su operación.

Se pretende también ver las nuevas metodologías aplicadas al mantenimiento como una cadena de compromiso con el sistema productivo de una empresa, mejorando la parte de costos y de prestación de servicios.

## INTRODUCCION

Es posible impedir desperfectos en los motores, o por lo menos prolongar la duración de estos, por medio de un programa de mantenimiento adecuado. Una parte del proceso consiste en saber por qué se averían los motores.

Se ha encontrado que los orígenes de los problemas en un motor suelen estar comprendidos en una de las siguientes categorías:

Condiciones ambientales adversas.

- Selección o aplicación incorrectas.
- Instalación inadecuada.
- Desperfectos mecánicos.
- Fallas eléctricas.
- Desequilibrio del voltaje.
- Mantenimiento inapropiado.
- Una combinación de dos o más de los factores anteriores.

La meta más importante de cualquier programa de mantenimiento es la eliminación de algún desperfecto de la maquinaria. Muchas veces una avería grave causará daños serios periféricos a la máquina, incrementando los costos de reparación. Una eliminación completa no es posible en la práctica en ese momento, pero se le puede acercar con una atención sistemática en el mantenimiento.

El segundo propósito del mantenimiento es de poder anticipar y planificar con precisión sus requerimientos. Eso quiere decir que se pueden reducir los inventarios de refacciones y que se puede eliminar la parte principal del trabajo en tiempo extra.

Las reparaciones a los sistemas mecánicos se pueden planificar de manera ideal durante los paros programados de la planta.

El tercer propósito es de incrementar la disponibilidad para la producción de la planta, por medio de la reducción importante de la posibilidad de algún paro durante el funcionamiento de la planta, y de mantener la capacidad operacional del sistema por medio de la reducción del tiempo de inactividad de las máquinas críticas.

Idealmente, las condiciones de operación de todas las máquinas se deberían conocer y documentar.

El último propósito del mantenimiento es de permitir al personal de mantenimiento el trabajar durante horas de trabajo predecible y razonable. El programa de mantenimiento se formulará buscando que los equipos cumplan con la función para la cual fueron proyectados, con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por sus requerimientos.

La falta o mantenimiento inadecuado de las instalaciones y equipos es la causa de graves problemas. Las razones que ocasionan este problema son:

- Carencia de repuestos.
- Falta de entrenamiento en el personal.
- Ausencia o inadecuadas prácticas de mantenimiento.

La carencia de mantenimiento preventivo ocasionará un alto porcentaje de salidas, baja disponibilidad de los equipos y baja capacidad de utilización lo que redundará en una elevación del consumo específico de energía. La disponibilidad y la capacidad de utilización determinan la productividad de las instalaciones y la continuidad en la prestación del servicio.

Es por esto muy importante poner en práctica políticas de mantenimiento en la Planta de tratamiento de Agua potable (PTAP), que incluyan entrenamiento del personal, almacén de repuestos y procedimientos y prácticas de mantenimiento adecuado.

Los objetivos del Mantenimiento son:

- Reducir costos, mejorar calidad, elevar disponibilidad.
- Maximización de la vida de la máquina.
- Optimización del recurso humano.
- Proteger el medio ambiente y garantizar seguridad de operación.

## **1. ANTECEDENTES DEL TEMA**

Actualmente, el estudio del mantenimiento ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante, es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas, optimización de procesos y el ahorro de recursos. La fiabilidad y los costos de mantenimiento y tiempos muertos resultantes de una fiabilidad deficiente pueden ser aun más importantes en algunas aplicaciones.

De lo anterior se han publicado estudios basados en la implementación y recomendaciones para realizar un correcto mantenimiento.

La importancia del mantenimiento se basa en que cualquier máquina o equipo con el tiempo de operación, sufre desgastes y desajustes de partes perdiendo su capacidad de producción y requiriendo paradas no programadas de operación para su atención. Esto conlleva a que la máquina pierda su rendimiento y su vida útil disminuya. Además necesita de personal calificado para realizar su reparación y conservación.

Cuanto más automatizada sean las instalaciones de una fábrica o planta, así como se necesita menos personal para operarla, requiere un buen sistema de mantenimiento para poder atender con éxito el número de averías por el aumento de equipos susceptibles de daño. El mantenimiento de la incipiente industria era realizado por el operador de la máquina, ya que la técnica en ellas era muy incipiente y sencilla y las intervenciones por daño, se realizaban una vez ocurrida la avería o antes de producirse, pero a medida que fue creciendo la complejidad de las técnicas aplicadas a las máquinas, el mantenimiento requirió de especialistas o talleres especializados. Con el tiempo estos talleres se integraron a la organización de la empresa y las comenzó la diferenciación entre el operador del proceso y el ejecutor del mantenimiento.

Esto último llevó a que el mantenimiento como parte de la estructura de una empresa, se desarrollara en forma de gestión, estudiando las horas de disponibilidad de una máquina (confiabilidad), el análisis de falla de las máquinas y sus componentes, la diferenciación entre especialista mecánico y eléctrico fundamentalmente.

Además hay que agregarle a todo lo anterior, que el mantenimiento está muy ligado con la prevención de accidentes y lesiones de los trabajadores (seguridad) y la conservación del medio ambiente.

En la actualidad el mantenimiento su organización y manejo de la información está encaminado a la consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la confiabilidad de los equipos.
- Disminución de los costos del mantenimiento.
- Optimización del recurso humano.
- Maximización de la vida útil de la máquina.
- Velar por la prevención de accidentes de los trabajadores.
- Conservar el medio ambiente evitando contaminaciones lamentables.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Planta de Tratamiento de agua potable (PTAP), está ubicada en el casco urbano del municipio de Yumbo, esta planta está en funcionamiento hace más de veinticinco años, desde su instalación, hasta el año 2003 dependía en cuanto a recursos económicos y personal operativo directamente de la administración Municipal, más concretamente a la Secretaria de Infraestructura y Servicios públicos.

La zona industrial y el área residencial del casco urbano (en conjunto el 80% de usuarios), son abastecidas a través de EMCALI por las plantas de Río Cauca y Puerto Mallarino; el 20% restante del casco urbano es abastecido por la Planta de Tratamiento Municipal, surtida por los ríos Yumbo y Arroyohondo.

EMCALI inició la prestación del servicio de acueducto a finales de 1983, mediante un convenio firmado por veinte años en 1981. La población beneficiada es del 97%, de los cuales el 91.82% de suscriptores son de uso residencial, el 5.98% uso comercial, el 1.47% uso industrial y 0.72% de instituciones oficiales.

De manera directa el municipio de Yumbo, por intermedio de la Planta de tratamiento de agua potable (PTAP), adscrita a la Empresa Oficial de Servicios Públicos de Yumbo S.A. E.S.P. (ESPY), atiende aproximadamente 35.000 usuarios, con un tiempo de servicio de 6 horas cada 24 horas, mediante un sistema de bombeo hacia los tanques ubicados en las zonas altas, que luego es distribuido por gravedad a los diferentes sectores. En las partes altas el servicio se presta con restricciones en la frecuencia y la periodicidad.

La PTAP cuenta en su sala de maquinas con seis motores trifásicos, que se utilizan en el proceso de bombeo de agua potable, para las laderas del Municipio de Yumbo, sitios donde las Empresas Municipales de Cali (EMCALI) no prestan el servicio de acueducto, zonas de estrato socioeconómico bajo y en condiciones de vulnerabilidad.

Buscando proteger dicha inversión, dineros del Erario público y teniendo en cuenta las necesidades que tienen las comunidades menos favorecidas, carentes de un bombeo de agua potable constante o efectivo, la mayor parte del día, se hace necesario la implementación de un Programa de mantenimiento para dichos equipos, tratando de que los paros en el bombeo del vital liquido sean mínimos o en el mejor de los casos ninguno.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Establecer una metodología para la formulación de un Programa de Mantenimiento.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

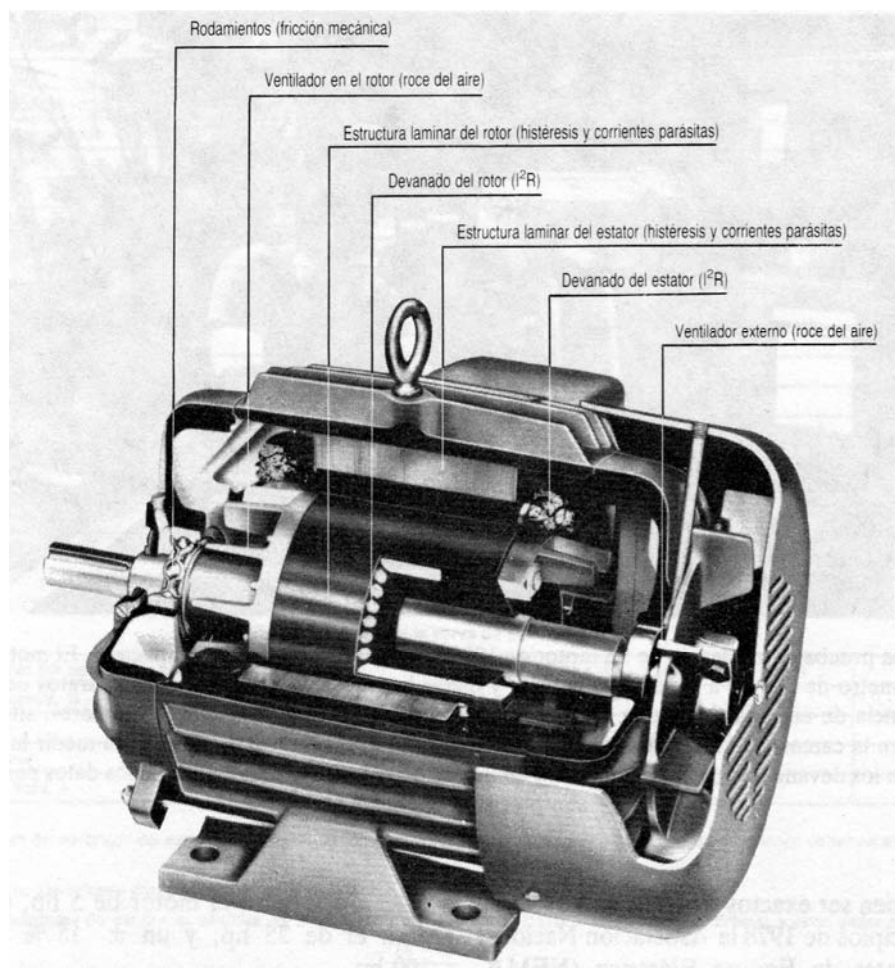
- Conocer y comprender todos los elementos que constituyen cada una de las maquinas (motores de Inducción) y su funcionamiento.
- Estudiar el fundamento de los diferentes tipos de mantenimiento.
- Determinar qué criterios se deben de seguir para la implementación de un programa de mantenimiento.
- Clasificación de los equipos que van a ser objeto del mantenimiento.
- Proponer un Plan de mantenimiento.
- Determinar qué tipo de beneficios se pueden obtener mediante la implementación de un programa de mantenimiento.
- Presentar recomendaciones para realizar un buen mantenimiento.



## 2. MOTOR DE INDUCCION

El Motor de Inducción fue inventado en el año de 1888 por Nicolay Tesla y desde este momento el uso de la corriente Alterna (C.A.) empezó a tener mayor importancia comparativa a la corriente continua, pues en la industria se incrementaba la demanda del motor de inducción debido a su construcción sencilla, velocidad relativamente constante, su robustez, su confiabilidad y su costo relativamente bajo. En la actualidad el motor de inducción es el más utilizado en la industria. Ver figura 1

Figura 1. Motor de inducción de a.c.

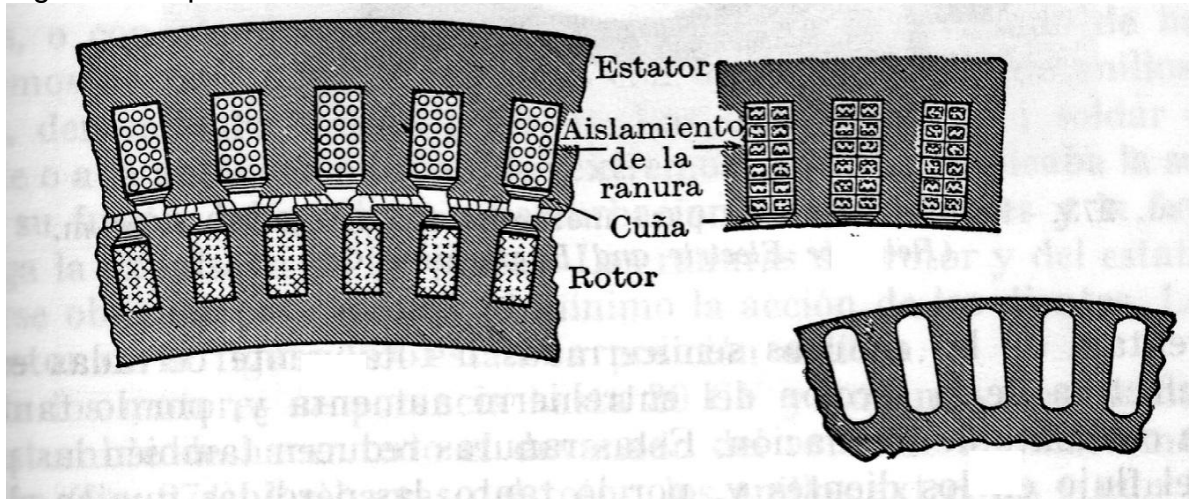


Fuente: LAWRIE R.J. Biblioteca práctica de los motores eléctricos. España: Grupo editorial Océano/ Centrum, 1994. p. 83.

La diferencia entre el motor a inducción y el motor síncrono es que en el motor a inducción el rotor no es un imán permanente sino que es un electroimán. Tiene barras de conducción en todo su largo, incrustadas en ranuras a distancias uniformes alrededor de la periferia. Las barras están conectadas con anillos (en cortocircuito como dicen los electricistas) a cada extremidad del rotor. Están soldadas a las extremidades de las barras. Este ensamblado se parece a las pequeñas jaulas rotativas para ejercer a mascotas como hámster y por eso a veces se llama "jaula de ardillas", y los motores de inducción se llaman motores de jaula de ardilla.

Cada par de barras es una revolución en cortocircuito, hablando magnéticamente el rotor se magnetiza por las corrientes inducidas en sus barras, debido a la acción del campo magnético, girando en el estator. Mientras que el campo del estator pasa a lo largo de las barras del rotor, el campo magnético que cambia induce altas corrientes en ellas y genera su propio campo magnético. La polaridad del campo magnético inducido del rotor es tal que repela al campo del estator que lo creó, y esta repulsión resulta en un torque sobre el rotor que le causa de girar. Ver figura 2.

Figura 2. Disposición interna de un motor de inducción de a.c.



Fuente: DAWES, Chester L. Tratado de electricidad: corriente alterna. 14 ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1994, p. 331.

Ya que el motor de inducción funciona por repulsión magnética, en lugar de por atracción como el motor síncrono, ha sido llamado "un motor a inducción repulsiva".

Si no hubiera fricción en el sistema, el rotor giraría a una velocidad síncrona, pero no produciría un torque útil. Bajo esta condición no hubiera movimiento relativo

entre las barras del rotor y el campo rotativo del estator, y no hubiera inducción de corriente en ellas. En el momento en que se aplica una carga al motor, la velocidad se reduce, lo que provoca que las barras del rotor corten las líneas magnéticas de fuerza del campo del estator y crean la fuerza de repulsión en el rotor. El campo magnético inducido en el rotor se mueve en la dirección opuesta a la rotación y la velocidad de este movimiento depende de la carga aplicada. Esto quiere decir que las RPM siempre serán inferiores a la velocidad síncrona. La diferencia entre la velocidad actual y la velocidad síncrona se llama el deslizamiento. Entre más grande es el deslizamiento, más grande es la corriente inducida en las barras del rotor, y más grande el torque. La corriente en los devanados del estator también se incrementa para crear las corrientes más largas en las barras.

Por estas razones la velocidad de un motor de inducción siempre dependerá de la carga.

Detalles de construcción:

El motor trifásico con inducido en jaula de ardilla lo constituyen esencialmente:

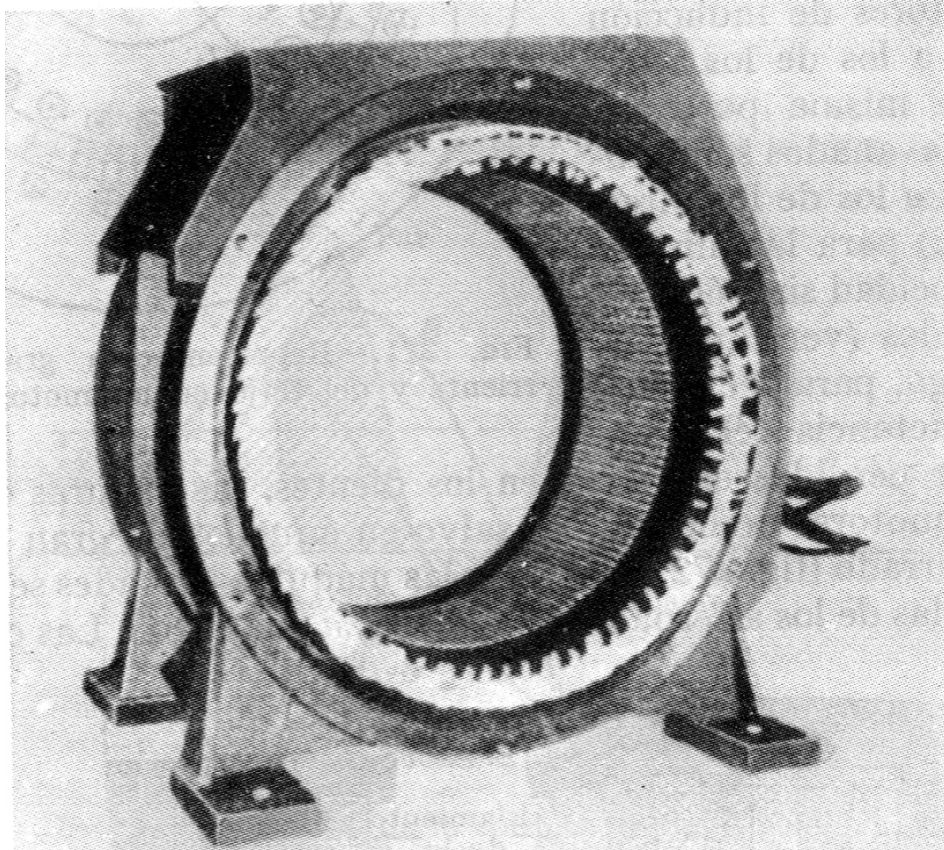
- Una parte estacionaria llamada estator.
- Una parte giratoria llamada rotor.
- Dos escudos de los extremos que alojan los cojinetes que sostienen al eje del rotor.

## **2.1. EL ESTATOR**

El bastidor o carcasa del motor se hace, por lo general, de hierro colado y el núcleo del estator va colocado a presión directamente dentro del bastidor. Ver figura3. Los dos escudos de los extremos van sujetos con pernos la bastidor de hierro. Los cojines que sostienen al eje del rotor se alojan en los escudos de los extremos. Estos cojines son lisos o de bolas.

Un estator típico contiene un devanado trifásico sujeto en su lugar por cuanto se aloja en las ranuras de un núcleo de acero laminado. El devanado lo constituyen bobinas formadas, dispuestas y conectadas para que integren tres devanados monofásicos espaciados a una distancia de 120 grados eléctricos. Los tres devanados monofásicos separados se conectan luego en Y o en delta. Tres conductores de línea de los devanados trifásicos del estator se llevan a una caja terminal montada en el bastidor del motor.

Figura 3. Estator motor de un motor de inducción

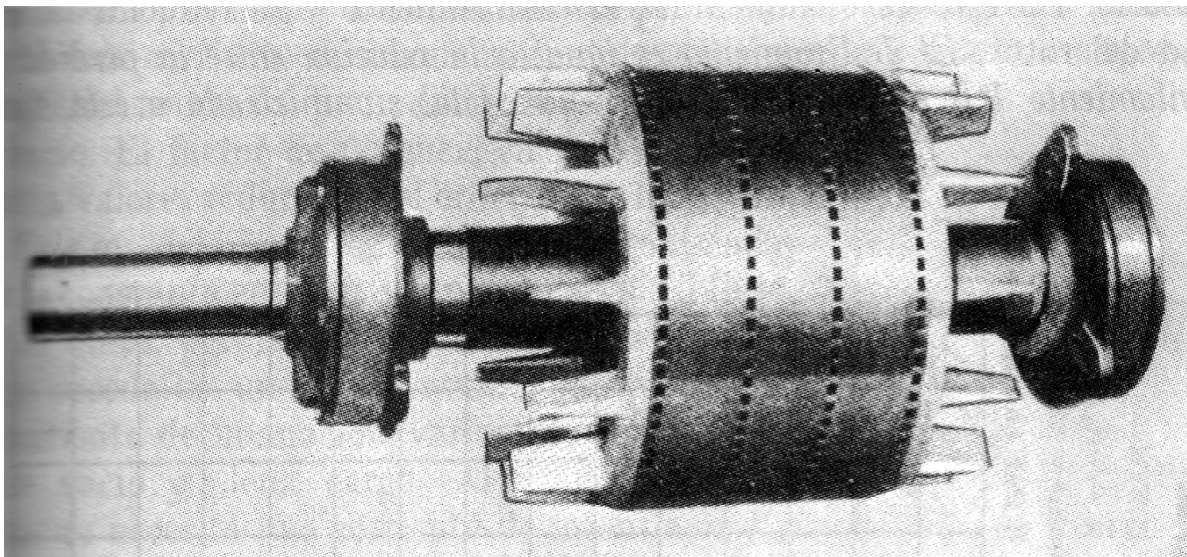


Fuente: DAWES, Chester L. Tratado de electricidad: corriente alterna. 14 ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1994, p. 332.

## 2.2. EL ROTOR

La parte giratoria, llamada rotor, está constituida por un núcleo cilíndrico hecho de acero estampado o laminado. Cerca de la superficie del rotor van montadas unas barras de cobre. Las barras van soldadas, con soldadura de bronce o soldadura autógena, a dos anillos de cobre de los extremos. En algunos de los motores más pequeños con inducido en jaula de ardilla, las barras y los anillos de los extremos son de aluminio y están fundidos formando una sola pieza.

Figura 4. Rotor de un motor de inducción a.c.



Fuente: DAWES, Chester L. Tratado de electricidad: corriente alterna. 14 ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1994, p. 333.

### **3. CONCEPTO DE MANTENIMIENTO**

#### **3.1. EL POR QUÉ DEL MANTENIMIENTO**

El Mantenimiento tiene como fin conservar todos los bienes que están comprometidos en la cadena del sistema productivo de una industria, directa e indirectamente en las mejores condiciones de funcionamiento, con un muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible.

Mantenimiento no sólo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones de: iluminación, redes de computación, sistemas de energía eléctrica, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos, zonas verdes, etc.

Debe coordinar con recursos humanos un plan para la capacitación continua del personal para mantener al personal actualizado en las nuevas tecnologías implementadas en las máquinas o en la gestión del mantenimiento.

Debe coordinar con Salud Ocupacional las capacitaciones y entrenamientos del personal de mantenimiento y operativo en las normas de seguridad.

#### **3.2. EL FIN DEL MANTENIMIENTO**

Hoy las industrias o empresas de servicios, bajo la creciente presión de la competencia, se encuentran obligadas a alcanzar altos valores de producción con exigentes niveles de calidad cumpliendo con los plazos de entrega y un mínimo de paradas en el caso de la prestación de un servicio. Luego la finalidad del mantenimiento es conseguir el máximo nivel de eficiencia (efectividad más eficacia) en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios, ocasionando la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad al personal operativo y produciendo al menor costo posible.

Todo lo anterior debe llevar a conservar el sistema de producción y servicios funcionando con el mejor nivel de confiabilidad, reduciendo la frecuencia y gravedad de las fallas, aplicando las normas de higiene y seguridad del trabajo, minimizar la degradación del medio ambiente, controlar, y por último reducir los costos a su mínima expresión

### 3.3. VARIABLES DEL MANTENIMIENTO

Analizaremos las distintas variables que repercuten en el desempeño de los sistemas. Así, podemos mencionar:

- La confiabilidad encierra tres conceptos: La fiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad.
- La calidad.
- La seguridad.
- El costo
- Entrega a tiempo.

Vamos a definir cada una de estas variables mencionadas.

❖ **La confiabilidad** es la probabilidad de que las máquinas, equipos e instalaciones, estén en capacidad de producir satisfactoriamente sin fallar, durante el período que está programado para producir, bajo condiciones establecidas con anterioridad.

La confiabilidad implica la **fiabilidad**, que es la probabilidad de que las máquinas, equipos e instalaciones se desempeñen satisfactoriamente, es decir sin falla durante el tiempo programado y bajo condiciones específicas.

Recordemos que la probabilidad puede variar entre 0 % (indica la certeza de falla) y 100 % (indica la certeza de buen desempeño).

La probabilidad de falla está necesariamente unida a la fiabilidad. El análisis de fallas constituye otra medida del desempeño de los sistemas, para ello se utiliza lo que denominamos la tasa de falla, que es el cociente del número de fallas sobre el total de horas de operación del equipo.

❖ **La disponibilidad** es la proporción de tiempo durante la cual la máquina, el equipo y las instalaciones estuvieron en condiciones de ser usados en forma productiva.

La disponibilidad depende de:

- La frecuencia de las fallas.

- El tiempo que nos demande poner la máquina, equipo o instalaciones en servicio.

❖ **La mantenibilidad**, es la probabilidad de que una máquina, equipo o un sistema pueda ser reparado a una condición especificada en un período de tiempo dado, con su mantenimiento realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad. La mantenibilidad es la cualidad que caracteriza una máquina, equipo o sistema en cuanto a su facilidad a realizarle mantenimiento, depende del diseño y pueden ser expresados en términos de frecuencia, duración y costo.

❖ **La calidad** ocupa un lugar primordial. El mantenimiento debe tratar de evitar las fallas, restablecer el sistema lo más rápido posible, dejándolo en condiciones óptimas de operar a los niveles de producción y calidad exigida.

❖ **La seguridad**, está referida al personal, instalaciones, equipos, sistemas y máquinas, no puede ni debe dejársela a un costado, con miras a dar cumplimiento a demandas pactadas.

La competencia nos obliga a bajar permanentemente los precios, por lo que se deben optimizar los procesos.

❖ **El tiempo de entrega** y el cumplimiento de los plazos previstos son variables que tienen su importancia, en el mantenimiento, el tiempo es un factor preeminente.

### 3.4 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

Los objetivos de mantenimiento deben alinearse con los de la empresa y estos deben ser específicos y estar presentes en las acciones que realice el área. Estos objetivos serán los que mencionamos a continuación:

❖ **Máxima producción.** Asegurar la óptima disponibilidad y mantener la fiabilidad de los sistemas, instalaciones, máquinas y equipos. Reparar las averías en el menor tiempo posible.

❖ **Mínimo costo:**

- Reducir a su mínima expresión las fallas.



- Aumentar la vida útil de las máquinas e instalaciones.
- Manejo óptimo de stock.
- Manejarse dentro de costos anuales regulares.

❖ **Calidad requerida:**

- Cuando se realizan las reparaciones en los equipos e instalaciones, aparte de solucionar el problema, se debe mantener la calidad requerida.
- Mantener el funcionamiento regular de la producción sin distorsiones. Eliminar las averías que afecten la calidad del producto o servicios prestados.

❖ **Conservación de la energía:**

- Conservar en buen estado las instalaciones auxiliares. Eliminar paros y puestas de marcha continuos.
- Controlar el rendimiento de los equipos

❖ **Conservación del medio ambiente:**

- Mantener las protecciones en aquellos equipos que pueden producir fugas contaminantes.
- Evitar averías en equipos e instalaciones correctoras de poluciones.

❖ **Higiene y seguridad:**

- Mantener las protecciones de seguridad en los equipos para evitar accidentes.
- Adiestrar al personal sobre normas para evitar los accidentes.
- Asegurar que los equipos funcionen en forma adecuada.

❖ **Implicación del personal.** Obtener la participación del personal para poder implementar el TPM. Implicar a los trabajadores en las técnicas de calidad.

### **3.5. TIPOS DE MANTENIMIENTO**

Los tipos de mantenimiento se clasifican según se atiende a la falla o se anticipa a ella. A continuación veremos los tipos de mantenimiento.

### **3.5.1. Mantenimiento después de que el equipo se ha dañado, mantenimiento correctivo.**

- Reparar cuando el fallo se produjo o es inminente.
- Se mantienen acciones de lubricación, limpieza, etc. como preventivos.
- Ahorro en reparaciones pequeñas, medias y generales.
- El costo de sus consecuencias generalmente muy alto.
- Máximo aprovechamiento de la pieza.

❖ Puede ser:

- No planificado: de emergencia (reparación de roturas).
- Planificado: Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse.

Este mantenimiento es de práctica frecuente pero no es recomendable debido a las siguientes razones:

- Esta forma de Mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.
- El equipo se va deteriorando gradualmente disminuyendo su rendimiento hasta que sale de funcionamiento.
- La salida del equipo ocasionará grandes períodos de cese de actividades en la producción debido a trabajos de reparación.

**3.5.2. Mantenimiento preventivo.** La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario; es conocido como Mantenimiento Preventivo Planificado – MPP.

Este método asegura una óptima confiabilidad de la planta y una disminución de los riesgos de salida de la misma. Además, ayudará a mantener la alta productividad de la planta.

- Se efectúan intervenciones profilácticas programadas.
- Disminuye gastos en reparaciones.

- Intervenciones más frecuentes: Servicio diario (limpieza, lubricación), trabajos periódicos (ajustes, recambios, regulaciones, engrases), Reparaciones pequeñas, medianas, generales, Reparaciones imprevistas.
- Diagnóstico para definir las actividades y para evaluar el mantenimiento.
- Disminuye eventualidad aumenta vida útil.
- Armes y desarmes frecuentes, no aprovechamiento de vida útil total.

❖ **Ventajas:**

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en Almacén y por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

**3.5.3. Mantenimiento predictivo.** También llamado Predictivo Indirecto o por Condición, este tipo de mantenimiento es basado fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, etc. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipo, sistema productivo, etc.

- Profiláctico pero no descansa en programación.
- Conocimiento real de la máquina mediante técnicas de diagnóstico (vibraciones, análisis de lubricación, radiografía, termografía, líquidos preventivos, ultrasonido etc.).
- Controles periódicos (Inspecciones discretas – calidad de instrumentos) (monitoreo continuo – alarmas automáticas, más usadas en CTE en programas de control).
- Actividades de lubricación y limpieza según programa.
- No existe casi eventualidad, aprovecho la vida útil entre armes y desarmes. Aumenta costo de equipos de diagnóstico y formación del personal, se justifica.
- Beneficios difíciles de valorar. Por costos evitados 10/1.

Se basa en un monitoreo periódico en la planta. Los parámetros que normalmente se monitorean son:

- Vibración.
- Corrosión.
- Contaminación del aceite lubricante.
- Puntos calientes.

- Estado de trampas y válvulas.
- Estado de ensuciamiento interior de superficies de intercambio de calor.
- Diagnóstico de los gases de combustión.
- Estado de las propiedades de aislamientos y refractarios.
- Regímenes químicos de aguas, composición química de condensados.
- Caídas de presión en sistemas.
- Niveles y propiedades de refrigerantes, etc.
- Calibración de la instrumentación.

❖ **Ventajas:**

- Reduce los tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

Estos métodos dejan extender intervalos entre el mantenimiento y las actividades, aunque el mantenimiento puede ser llevado a cabo, si hay daño.

Debido a la minimización de las interrupciones de operación el método predictivo en condiciones de mantenimiento es un método muy económico.

Sin embargo, se requieren unas condiciones de monitoreo periódicas, un amplio conocimiento del equipo así como también la suficiente tecnología y experiencia en lo que a interpretación de la información se refiere.

**3.5.4. Mantenimiento productivo total (PTM).** El Mantenimiento Productivo Total, cuyas siglas en ingles son PTM (Total Productive Maintenance), nace en los años 70, 20 años después del inicio del Mantenimiento Preventivo.

#### ❖ **Las metas del Mantenimiento PTM:**

- Maximizar la eficacia de los equipos.
- Involucrar en el mismo a todos las personas y equipos que diseñan, usan o mantienen los equipos.
- Obtener un sistema de Mantenimiento Productivo para toda la vida del equipo.
- Involucrar a todos los empleados, desde los trabajadores a los directivos.

Promover el PTM mediante motivación de grupos activos en la empresa.

Objetivos del Mantenimiento Productivo Total:

- Cero averías en los equipos.
- Cero defectos en la producción.
- Cero accidentes laborales.
- Mejorar la producción.
- Minimizar los costes.

#### ❖ **Inconvenientes del Mantenimiento Productivo Total:**

- Proceso de implementación lento y costoso.
- Cambio de hábitos productivos.
- Implicación de trabajar juntos todos los escalafones laborales de la empresa.

**3.5.5. Mantenimiento dirigido a la confiabilidad (R C M). Definición de Confiabilidad.** Se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

❖ **Análisis de la Confiabilidad.** La ejecución de un análisis de la confiabilidad en un producto o un sistema incluye todos los tipos de exámenes para determinar cuan confiable es el producto o sistema que pretende analizarse.

Una vez realizados los análisis, es posible prever los efectos de los cambios y de las correcciones del diseño para mejorar la confiabilidad del ítem.

Los diversos estudios del producto se relacionan, vinculan y examinan conjuntamente, para poder determinar la confiabilidad del mismo bajo todas las perspectivas posibles, determinando posibles problemas y poder sugerir correcciones, cambios y/o mejoras en productos o elementos.

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. Tuvo su origen en la Industria Aeronáutica. De estos procesos, el RCM es el más efectivo.

El Mantenimiento RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

Manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

❖ **Objetivos del RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad:** Reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias.

❖ **Ventajas del RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad:**

- Si RCM se aplicara a un sistema de mantenimiento preventivo ya existente en las empresas, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitualmente hasta un 40% a 70%.
- Si RCM se aplicara para desarrollar un nuevo sistema de Mantenimiento Preventivo en la empresa, la carga de trabajo programada será mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.
- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo.

Implantación de un Plan de Mantenimiento RCM:

- Selección del sistema y documentación.
- Definición de fronteras del sistema.
- Diagramas funcionales del sistema.
- Identificación de funciones y fallas funcionales.
- Construcción del análisis modal de fallos y efectos.

**3.5.6. Mantenimiento alterno.** Es una forma de organizar el mantenimiento. Consiste en alternar o combinar diferentes formas de mantenimiento de acuerdo al nivel de importancia de los equipos o sistemas en el proceso productivo.

Una vez conocidos los tipos de mantenimiento es necesario tener un criterio de a qué equipos les aplicaremos, uno u otro, o un sistema alternativo, y que no todos tienen igual importancia en la calidad y disponibilidad en el proceso productivo.

**3.5.7. Mantenimiento de oportunidad.** Aprovechando la parada de los equipos por otros motivos y según la oportunidad calculada sobre bases estadísticas, técnicas y económicas, se procede a un mantenimiento programado de algunos componentes predeterminados de aquéllos.

**3.5.8. Mantenimiento de mejora.** Consiste en modificaciones o agregados que se pueden hacer a los equipos, si ello constituye una ventaja técnica y/o económica y si permiten reducir, simplificar o eliminar operaciones de mantenimiento.

**3.5.9. Mantenimiento pro activo.** La última innovación en el campo del mantenimiento predictivo es el mantenimiento pro activo, que usa gran cantidad de técnicas para alargar la duración de operación de La parte mayor de un programa pro activo es el análisis de las causas fundamentales de las fallas en máquinas.

Esas causas fundamentales se pueden remediar y los mecanismos de falla se pueden eliminar gradualmente en cada máquina.

Se ha sabido desde hace mucho tiempo que el desbalanceo y la desalineación son las causas fundamentales de la mayoría de las fallas en máquinas. Ambos fenómenos provocan una carga en los rodamientos con fuerzas indebidas y acortan su vida útil. En lugar de reemplazar continuamente rodamientos gastados en una máquina que presenta una falla, una mejor política sería de llevar a cabo un balanceo y alineación de precisión en la máquina y de verificar los resultados por medio de un análisis de la firma de vibraciones.

❖ **Alineación de Precisión.** Se ha mencionado en la revista TAPPI, que una alineación de precisión resulta en una extensión de la vida útil de los rodamientos con un factor de ocho en una gran parte de máquinas rotativas. Otras ventajas que se reportaron fueron un ahorro del 7% en costos de mantenimiento general y un

incremento del 12% en la disponibilidad de la máquina. Las fallas que se atribuyeron a la desalineación fueron reducidas a la mitad.

Otra ventaja de la alineación de precisión es el ahorro de energía. Un estudio reciente reveló un promedio de ahorro de energía del 11% por medio de alineación de precisión en un grupo de ensamblados de bombas a motor sencillas. Esto se debe a que se usa menos energía moviendo el acoplamiento, que hace vibrar la máquina y calienta los rodamientos. El ahorro de dinero en este caso debido a un gasto reducido de energía será más que dos veces el gasto del mantenimiento de estas máquinas

❖ **Instalaciones nuevas.** Es sabido que muchas máquinas recién instaladas tienen defectos. Estos van desde instalaciones incorrectas debido a una colocación defectuosa de las patas y una alineación incorrecta, hasta partes defectuosas en la máquina, como rodamientos, flechas con flexión, etc. Un programa de mantenimiento pro activo incluirá el probar las nuevas instalaciones con el propósito de la certificación y de la comprobación de que la marcha de la máquina se haga según normas estrictas. Las mismas normas se aplican a maquinaria reconstruida o reacondicionada.

Este tipo de pruebas puede llevar al establecimiento de especificaciones específicas de funcionamiento que en varios casos son más estrictas que las especificaciones y tolerancias del constructor de la maquinaria.

Una parte esencial de la política proactiva es la capacitación de personal de mantenimiento en la aplicación de los principios de base.



## 4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Por **Programa de Mantenimiento** podemos entender 2 cosas:

- **Programa o Plan de Mantenimiento Preventivo:** Se trata de la descripción detallada de las tareas de Mantenimiento Preventivo asociadas a un equipo o máquina, explicando las acciones, plazos y recambios a utilizar; en general, hablamos de tareas de limpieza, comprobación, ajuste, lubricación y sustitución de piezas.
- **Software de Mantenimiento:** Aplicación Informática comercial o no, que facilita ejecutar el Plan de Mantenimiento de una equipo, máquina o conjuntos de activos de una empresa, mediante la creación, control y seguimiento de las distintas tareas técnicas previstas con el uso de un ordenador - computador. Este tipo de programas suele conocerse también como **GMAC (Gestión de Mantenimiento asistida por Computadora)**.

### 4.1. COMO CREAR UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Crear un **Programa de Mantenimiento** para un Equipo o Máquina determinada es fácil, pero hacerlo bien es muy difícil. Intentaremos dar unas ideas básicas:

- Quien mejor conoce una máquina es su fabricante, por lo que es altamente aconsejable comenzar por localizar el manual de uso y mantenimiento original, y si no fuera posible, contactar con el fabricante por si dispone de alguno similar, aunque no sea del modelo exacto.
- Establecer un manual mínimo de buen uso para los operarios de la máquina, que incluya la limpieza del equipo y el espacio cercano.
- Comenzar de inmediato la creación de un Historial de averías e incidencias.
- Establecer una lista de puntos de comprobación, como niveles de lubricante, presión, temperatura, voltaje, peso, etc., así como sus valores, tolerancias y la periodicidad de comprobación, en horas, días, semanas, etc.
- Verifique o establezca la existencia de procedimientos de operación para cada uno de los estados operacionales del equipo o sistema: arranque, parada, cambio de productos, paradas no programadas, paradas programadas, etc.
- Realice los registros requeridos para verificar la acción del operario y medir el estado técnico del equipo en cuanto a disponibilidad y eficiencia.

- Establecer un Plan Programa de Lubricación de la misma forma, comenzando con plazos cortos, analizando resultados hasta alcanzar los plazos óptimos.
- Actuar de la misma forma con los todos sistemas de filtración y filtros del equipo, sean de aire, agua, lubricantes, combustibles, etc. Para establecer los plazos exactos de limpieza y/o sustitución de los filtros, nos ayudará revisarlos y comprobar su estado de forma periódica. Los filtros de cartucho pueden abrirse para analizar su estado, y comprobar si se sustituyeron en el momento justo, pronto o tarde.
- En cuanto a transmisiones, cadenas, rodamientos, correas de transmisión, etc., los fabricantes suelen facilitar un n° de horas aproximado o máximo de funcionamiento, pero que dependerá mucho de las condiciones de trabajo: temperatura, carga, velocidad, vibraciones, etc. Por lo tanto, no tomar esos plazos máximos como los normales para su sustitución, sino calcular esa sustitución en función del comentario de los operarios, la experiencia de los técnicos de mantenimiento, incidencias anteriores, etc.
- Crear un listado de accesorios, repuestos, recambios para el equipo, valorando el disponer siempre de un Stock mínimo para un plazo temporal 2 veces el plazo de entrega del fabricante, sin olvidar épocas especiales como vacaciones, etc.
- Siempre que sea posible, agrupar en el Plan o Programa de Mantenimiento las distintas acciones de mantenimiento preventivo que requieran la parada del Equipo o máquina, aunque los plazos no sean exactos, adelantando un poco los más alejados (por ejemplo, si establece el fabricante la comprobación de presión de un elemento cada 30 días, podemos establecerlo nosotros cada 28, para coincidir con otras tareas preventivas del plazo semanal ( $7 \times 4 \text{ semanas} = 28 \text{ días}$ )).
- Si no disponen de un **Software de Mantenimiento** con un mínimo conocimiento de sistemas pueden crearse aplicaciones simples pero efectivas con programas como Access (bases de datos) y Excel (Hoja de Cálculo), que nos permitirán tener una ficha del equipo, con sus incidencias, paradas, averías, soluciones, repuestos usados, etc. Cuantos más datos recojan y guarden, más exacto podrán ser su **Programa de Mantenimiento**.

## 4.2. METAS DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

La meta más importante de cualquier programa de mantenimiento es la eliminación de algún desarreglo de la maquinaria. Muchas veces una avería grave causará daños serios periféricos a la máquina, incrementando los costos de reparación. Una eliminación completa no es posible en la práctica en ese momento, pero se le puede acercar con una atención sistemática en el mantenimiento.

El segundo propósito del mantenimiento es de poder anticipar y planificar con precisión sus requerimientos. Eso quiere decir que se pueden reducir los

inventarios de refacciones y que se puede eliminar la parte principal del trabajo en tiempo extra.

Las reparaciones a los sistemas mecánicos se pueden planificar de manera ideal durante los paros programados de la planta.

El tercer propósito es de incrementar la disponibilidad para la producción de la planta, por medio de la reducción importante de la posibilidad de algún paro durante el funcionamiento de la planta, y de mantener la capacidad operacional del sistema por medio de la reducción del tiempo de inactividad de las máquinas críticas. Idealmente, las condiciones de operación de todas las máquinas se deberían conocer y documentar.

El último propósito del mantenimiento es de permitir al personal de mantenimiento el trabajar durante horas de trabajos predecibles y razonables.

Tabla 1. Posibles indicadores de mantenimiento

## INDICADORES

DENOMINACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Horas Preventivo	Horas, \$
Horas Predictivo	Horas, \$
Hora Correctivo	Horas, \$
Costos totales y discriminados por tipo de Mantenimiento (M.O, Mat.)	\$
Número de horas disponibles de mantenimiento	Horas, \$
Número de horas reales de mantenimiento	Horas, \$
Número de averías totales	Horas, \$
Clasificación de averías	Tipo, causa, lugar, turno, frecuencia.
Horas de paro de máquinas por mantenimiento.	Horas, \$
Cumplimiento de los mantenimientos programados en actividades y en tiempo.	%
Ordenes generadas y cerradas.	Cantidad, %
DENOMINACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Eficiencia energética del equipamiento	%
Factor de carga de los equipos	%
Confiabilidad	Tiempo promedio de operación entre fallas consecutivas.
Mantenibilidad	Tiempo promedio para reparar la falla ocurrida.
Disponibilidad	Tiempo total del equipo en condiciones de trabajo.
Nivel de experiencia del personal de mantenimiento	0-5 años; 5-10 años; más de 10 años

Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Mantenimiento dirigido a la gestión energética [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 39-40. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

### **4.3. TECNOLOGIAS DEL MANTENIMIENTO DIRIGIDOS A LA EFICIENCIA**

- Registros proactivos.
- Listas de autodiagnóstico.
- Procedimientos de arranques y paradas.
- Procedimientos de cambios de material o productos.
- Predictores on line autocorregidos.
- Balances online. Evaluación online de eficiencia.
- Balances termoeconómicos on line.
- Gráficos de tendencia on line.
- Instrumentación y control de avanzada.
- Escuela de operadores.
- Escuela de mantenedores.
- Árbol de causas raíces on line.
- Tecnologías de diagnóstico predictivo. (Termografía, análisis de aceite, Ultrasonido, vibraciones etc.).

### **4.4. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

**4.4.1. Papel de la gestión de mantenimiento.** El papel de la gestión de mantenimiento se basa en actuar sobre todos los aspectos de importancia para el óptimo funcionamiento de la empresa.

El departamento de mantenimiento no debe limitarse solamente a la reparación de las instalaciones, sino también debe monitorear los costos de mantenimiento, recursos humanos y almacenes a fin de desarrollar una óptima gestión de mantenimiento.

**4.4.2. Implementación de la gestión en mantenimiento.** La implementación de la gestión en mantenimiento, tiene como primera fase definir un plan directriz de actuación.

Este plan debe establecer la descripción de las diferentes etapas que se llevarán a cabo para la implementación definitiva de la gestión de mantenimiento, que deberá guardar coherencia con el plan estratégico de la empresa.

**4.4.3. Análisis de la situación.** Para la elaboración del plan es necesario realizar un análisis de la situación de la empresa y de su entorno, las características de funcionamiento y los recursos con que cuenta.

Interesa conocer cuáles son las instalaciones de la empresa, sus características particulares, el estado de situación del almacén de repuestos y sus recursos, como así también los recursos humanos.

**4.4.4. El Plan de mantenimiento.** Para realizar el plan es conveniente aplicar el método por fases denominado P.H.V.A. que se basa en la aplicación de un proceso de acción cíclica que consta de cuatro fases fundamentales, P.H.V.A. significa:

P = Planear

H = Hacer

V = Verificar

A = Actuar

En base a este proceso se desarrolla el plan directriz de actuación, que consta de las siguientes etapas:

❖ **Planear.** en base a la situación actual y los recursos de que se disponen, debemos definir los objetivos que queremos cumplir con la gestión de mantenimiento y realizar el plan de mantenimiento, fijar los objetivos, e ir avanzando y asegurando cada uno de ellos, cuanto más concreto sea el objetivo a cumplir, será más fácil alcanzarlo.

❖ **Hacer el plan.** una vez fijado el punto de partida y los objetivos a los que se quiere llegar, debemos gestionar los recursos disponibles para lograrlos.

❖ **Verificar.** es necesario evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos marcados, el control de los resultados se realizará en comparación con las metas prefijadas.

❖ **Actuar.** si existen desviaciones entre el modelo prefijado y los resultados, se debe proceder a corregir actuando sobre la planificación y la ejecución, estableciéndose así la retroalimentación al sistema.

**4.4.5. Plan estratégico.** El plan estratégico es la exposición dinámica del diagnóstico del servicio de mantenimiento. Es un conjunto de informaciones seleccionadas y ordenadas que caracterizan el estado y evolución del servicio de mantenimiento. De allí que el plan estratégico es el producto final de un sistema integrado de información para el control de gestión, su función es informar a la dirección, a través de indicadores, la marcha de la gestión, el grado de cumplimiento de los objetivos estratégicos, tácticos y operativos.

**4.4.6. Metodología para la definición del plan estratégico.** Para la elaboración de un plan estratégico es necesario seguir un método adecuado y es por ello que proponemos cumplir con los peldaños que a continuación proponemos:

- Conocer y entender cuál es la principal actividad, comprender la visión, la misión, la estrategia, los recursos humanos, técnicos, financieros, e infraestructura.
- Detectar las áreas importantes donde se realizará el diagnóstico y reconocer áreas de éxito, aquellas que crean ventajas competitivas, y áreas de riesgo que son aquellas en las que se encuentran las debilidades.
- Definir los factores de éxito de cada área de diagnóstico.
- Definir los indicadores que representan los factores de éxito.
- Definir las relaciones entre datos que provienen de la información básica, capaces de generar los indicadores del tablero.
- Definir los cuestionarios que permitan evaluar los aspectos cualitativos más importantes para el diagnóstico.
- Determinar los límites dentro del cual debe encontrarse el valor de un indicador para ser considerado una fortaleza o una debilidad.
- Establecer la dirección y sentido de las tendencias de los indicadores.
- Presentar gráficos y cuadros que muestren la información de manera que su lectura resulte rápida y de comprensión directa.
- Establecer los medios de validación de la información básica primaria.

**4.4.7. Análisis del plan estratégico.** De su análisis se podría deducir:

- Si el trayecto en general de la misión se mantiene dentro de un rumbo prefijado.
- Si los resultados de las tácticas implementadas son los esperados o se han salido fuera de tolerancia.
- Qué objetivos deberían ser revisados o cambiados.
- Quién o quiénes han tenido un desempeño por encima o por debajo de lo previsto.

- Logrado el primer objetivo del control de gestión que consiste en definir la información, será necesario asegurar el mantenimiento y validación permanente de esa información.

Para esto el control de gestión debe precederse a convertir ese cúmulo de información simple en información secundaria, más pulida, más apropiada para la toma de decisiones tanto tácticas como estratégicas.

A fin de administrar y ordenar la información, podemos dividirla en tres etapas:

- La primera etapa consiste en crear y mantener la información básica.
- La segunda consiste en el manipuleo y cruzamiento de los índices y evaluaciones. En él, se exponen los sensores encargados de vigilar la marcha de la organización, brindando en tiempo y forma las mediciones necesarias para contar con el adecuado diagnóstico de la situación.
- La tercera etapa implica una tarea mucho más compleja y comprometida: consiste en aplicar una suma de conocimientos, experiencia e idoneidad, para extraer conclusiones válidas y certeras acerca del significado de los indicadores obtenidos.

Si tenemos en cuenta las variables, índices y evaluaciones es conveniente referirse a tres perspectivas de tiempo fundamentales:

- La historia ¿Cómo ha evolucionado la situación de los índices y variables través del tiempo, antes del presente?
- El presente ¿Cuál es la situación real de hoy?
- La tendencia hacia el futuro ¿Cómo se piensa que evolucionarán esos mismos indicadores y variables en el futuro?

**4.4.8. Índices de mantenimiento.** Un índice es un indicador del plan estratégico formado por la relación de dos dimensiones cuantificadas que pueden ser de naturalezas diferentes.

$$\text{Ejemplo} = \frac{\text{Gasto Total de Mantenimiento}}{\text{Unidades de Producción}}$$

El indicador permite la comparación de datos externos o internos A continuación veremos a modo de ejemplo algunos ratios Indicador de Costo de Mantenimiento



❖ **Indicador de Costo de Mantenimiento por Facturación.** Este índice nos expresa la relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el período considerado.

$$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP}$$

Su cálculo es fácil dado que los valores, tanto del numerador como del denominador, son normalmente procesados por el área de contabilidad de la empresa.

❖ **Indicador de Progreso en los esfuerzos de Reducción de Costos.** Este índice expresa la relación entre el trabajo en mantenimiento programado y el índice anterior.

$$PERC = \frac{TEMP}{CMFT}$$

Indica la influencia de la mejoría o empeoramiento de las actividades de mantenimiento bajo control (TBMP) con relación al costo de mantenimiento por facturación, habiendo sido originalmente definido teniendo en el denominador el índice de componente del costo de mantenimiento arriba indicado.

❖ **Indicador de Mano de Obra Externa.** El presente índice revela la relación entre los gastos totales de mano de obra externa como contratación eventual y/o gastos de mano de obra proporcional a los servicios de contratos permanentes, y la mano de obra total empleada en los servicios-(propios y contratados), durante el período considerado.

$$CMOE = \frac{(Totalidad)CMOC}{(Totalidad)(CMOC + CMOP)}$$

En el cálculo de éste pueden ser considerados todos los tipos de mano de obra externa o por especialización. La incidencia constante de valores diferentes a cero para este índice puede indicar que el cuadro de personal de ejecución es insuficiente o mal preparado para algunas actividades.

❖ **Indicador de Costos de Mantenimiento por Producción.** Este indicador nos muestra la influencia que tiene el costo de mantenimiento en el costo final del producto normalmente puede rondar el 5% a 12%.

$$CMPP = \frac{\text{Costos de Mantenimiento Totales}}{\text{Costos de Producción}}$$

❖ **Indicador de Costos de Mantenimiento por Valor Inmovilizado.** Este indicador muestra la relación entre el costo de mantenimiento y el valor inmovilizado, nos pone de manifiesto el grado de envejecimiento de la instalación a mantener, puede rondar entre el 4% y el 5%.

$$CMPV = \frac{\text{Costos de Mantenimiento Totales}}{\text{Valor Inmovilizado Bruto (Máquinas y equipos)}}$$

❖ **Indicador de Costos de Mantenimiento Preventivos por Mantenimientos Totales.** Este indicador pone de manifiesto el grado de utilización de técnicas preventivas frente a las correctivas, este puede rondar el 20%.

$$CPCT = \frac{\text{Costo del Preventivo}}{\text{Costos Totales de Mantenimiento (preventivo + correctivo)}}$$

❖ **Indicadores de Mano de Obra Horas de paro por horas realizadas.** Este indicador nos muestra la relación entre las horas empleadas para la producción y las de paro del equipo por averías. Al tomar las horas de paro en lugar del número de averías introducimos en la relación un concepto de gravedad de las averías. Al tomar las horas de producción realizadas, también estamos considerando la tasa de inutilización del equipo la cual generalmente oscila entre el 1% y el 3%.

$$HPMP = \frac{\text{Horas de Paro por Mantenimiento}}{\text{Horas de Producción Realizadas}}$$

❖ **Trabajo en Mantenimiento Preventivo.** Nos señala la relación entre las horas hombres gastados en trabajos programados en mantenimiento preventivo y las horas hombres disponibles, entendiéndose por horas hombres disponibles, aquellos presentes en la instalación y físicamente posibilitados de desempeñar los trabajos requeridos.

$$TBMP = \frac{(\text{Totalidad}) HHMP}{(\text{Totalidad}) HHDP}$$

Es la relación entre las horas hombres gastados en reparaciones de mantenimiento correctivo y las horas hombres disponibles.

$$TBCM = \frac{(\text{Totalidad}) HHMC}{(\text{Totalidad}) HHDP}$$

❖ **Otras Actividades del Personal de Mantenimiento.** Indica la relación entre las horas hombres gastados en actividades no ligadas a el mantenimiento de los equipos de la unidad de producción, que llamamos servicios de apoyo, y las horas hombres disponibles.

$$OAPM = \frac{(\text{Totalidad}) HHSM}{(\text{Totalidad}) HHDP}$$

❖ **Ociosidad del Personal de Mantenimiento.** Demuestra la relación entre la diferencia de las horas hombres disponibles menos las horas hombres

trabajadas sobre los hombres horas disponibles, indicando por lo tanto, cuanto del tiempo del personal no fue ocupado en ninguna actividad.

$$OCPM = \frac{(Totalidad) [HHDP - HHTM]}{(Totalidad) HHDP}$$

❖ **Exceso de Servicio del Personal de Mantenimiento.** Nos muestra la relación entre la diferencia de las horas hombres Trabajadas y disponibles, y las horas hombres disponibles, indicando por lo tanto, cuanto del tiempo del personal fue ocupado por arriba de la carga normal de trabajo.

$$ESPM = \frac{(Totalidad) [HHTP - HHDP]}{(Totalidad) HHDP}$$

❖ **Personal, Gasto en Entrenamiento Interno.** Nos da la relación entre las horas hombres utilizadas en entrenamiento interno y las horas hombres disponibles.

$$PETI = \frac{(Totalidad) HHEI}{(Totalidad) HHDP}$$

❖ **Efectivo Real o Efectivo Medio Diario.** Demuestra la relación entre las horas hombres apartados por vacaciones, accidentes, enfermedades, salidas permitidas con pago, entrenamiento externo, apoyo a otra área y faltas no pagadas y las horas hombres efectivas

$$EFMD = \frac{(Totalidad) HHA F}{(Totalidad) HHE F}$$

El valor simétrico de éste índice (1 — EFMD), muestra la fuerza de trabajo real del período, toda vez que pasará a relacionar las horas hombres disponibles en relación al efectivo. Su cálculo puede indicar la necesidad de un estudio del plan de vacaciones -elemento que más influye en el cálculo del numerador-, o la incidencia de otro evento como accidente, faltas no pagadas, etc., que requiera la atención del supervisor.

Tabla 2. Indicadores de Mantenimiento

	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	VALORES USUALES
ESTRUCTURALES	Costo del mantenimiento / Costo total de producción.	5-7%
	Costo del mantenimiento / Valor de los medios básicos	4-10%
	Costo del mantenimiento contratado/Costo total del mantenimiento	20-30%
	Costo de supervisión / Costo del mantenimiento	2-4%
	Costo de la reparación general / Valor de los medios básicos	0,3-2%
DE RECURSOS HUMANOS	Técnicos de mantenimiento / Total de trabajadores de mantenimiento.	5-10%
	Total de trabajadores de mantenimiento / Total de trabajadores de la Empresa.	20-27%
	Trabajadores indirectos de mantenimiento / Total de trabajadores de mantenimiento.	14-30%
	Ausentismo.	6-10%
DEL TRABAJO DE MANTENIMIENTO	Horas-hombre de trabajo planificado de mantenimiento / Horas-hombre total de mantenimiento.	60-70%
	Horas-hombre de trabajos no planificados de mantenimiento / Horas-hombre total de mantenimiento.	30-40%
	Horas programadas / Horas totales disponibles.	> 95%
	Horas reales en trabajos planificados / Horas programadas.	125-140%
PRODUCCIÓN PIEZAS	Utilización del taller de fabricación de piezas de repuesto.	90-100%
	Horas-máquina / Kilogramos de piezas producidas.	0,2-0,3 h/Kg.
	Costo por peso de producción.	0,5-0,7
	Costo del taller de fabricación de piezas / Costo del taller de mantenimiento.	25-30%
COSTOS GENERALES	Costo del mantenimiento planificado / Costo total de mantenimiento.	≈ 20%
	Costo de la mano de obra de mantenimiento / Costo total de mantenimiento.	40-50%
	Costo de materiales / Costo total de mantenimiento.	20-25%

Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Indicadores de mantenimiento [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 30. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

❖ **Eficiencia.** Es utilizar los recursos racionalmente y de la mejor manera posible. Recursos como: materiales, maquinaria, mano de obra, medio logístico, tiempo, dinero. Es obtener altos resultados con menos recursos.

❖ **Eficacia.** Es el logro de los atributos del producto que satisface las necesidades, deseos y demandas de los clientes, en lo relativo a: calidad, cumplimiento, oportunidad, confiabilidad, costo, atención.

❖ **Efectividad.** Si se cumple con eficiencia y eficacia, se puede decir que se cumple con ser efectivo. Se mide por el impacto que logro tanto interna como externamente. (Productividad, Rentabilidad, Mercado, Capacidad de pago, Logros en la satisfacción del cliente).

Figura 5. Eficiencia, eficacia y efectividad



Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Indicadores de mantenimiento, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología "Francisco José de Caldas", Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 28. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

**4.4.9. Gestión.** Conjunto de acciones y decisiones que llevan al logro de objetivos previamente establecidos. Debe entenderse también como el mejoramiento de los objetivos.

La gestión, entonces, está relacionada con los resultados o logros y no con el trabajo o las actividades desarrolladas.

❖ **Indicadores de Gestión.** Son expresiones cuantitativas de las variables que intervienen en un proceso y de los atributos de los resultados del mismo y que permiten analizar el desarrollo de la gestión.



## 5. COSTOS DE MANTENIMIENTO

Tenemos que destacar la importancia que tiene en mantenimiento conseguir que los costos sean lo más bajo posible.

El costo de mantenimiento en las reparaciones es un componente entre otros del precio del producto, independientemente de la gestión del mantenimiento, por lo tanto siempre existirán gastos que se deben asumir, y veremos cómo influyen los gastos de mantenimiento en los costos generales de la empresa.

Los costos de mantenimiento de un producto se sitúan sobre el 5-12% del total.

### 5.1 LOS COSTOS Y SU DIVISIÓN

Los costos de mantenimiento según los diferentes aspectos, podemos agruparlos en cuatro bloques:

- CFJ: Costos Fijos
- CV: Costos Variables
- CFN: Costos Financieros
- CFA: Costo por Falla

**5.1.1. Costos fijos.** La principal característica de estos costos es que no dependen del volumen de la producción y de las ventas.

Dentro de estos costos podemos destacar el personal administrativo, el de limpieza, la mano de obra indirecta, las amortizaciones, los alquileres y el propio de mantenimiento, entre otros.

Estos costos fijos de mantenimiento están compuestos, principalmente, por la mano de obra y materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo.

Este gasto tiende a asegurar el estado de la instalación a medio y largo plazo. La disminución del presupuesto y recursos destinados a este gasto fijo, limita la cantidad del mantenimiento preventivo aunque en un primer momento supone un ahorro para la empresa.

Este ahorro implica un menor índice de fiabilidad en el estado de las máquinas, equipos, instalaciones y sistemas.

**5.1.2. Costos variables.** Estos costos son proporcionales a la producción realizada, es decir que son costos que como su nombre lo indica varían conforme a la producción.

Dentro de estos costos se encuentran los de embalaje, materias primas, energía, etc. y los costos variables de mantenimiento, como por ejemplo la mano de obra directa necesaria para el mantenimiento correctivo. Este mantenimiento puede producirse por consecuencia de las averías imprevistas o por las reparaciones que debamos realizar por indicación de los otros tipos de mantenimiento.

Resulta difícil reducir este tipo de erogación en mantenimiento, ya que está directamente ligado a la necesidad de efectuar una reparación para poder seguir produciendo, no obstante se puede reducir este tipo de gasto evitando que se produzcan averías en forma inesperada.

**5.1.3. Costos financieros.** Los costos del almacenamiento de los repuestos en el almacén, necesarios para poder realizar las reparaciones implican un desembolso de dinero para la empresa, que limita su liquidez. Si los repuestos son utilizados con cierta frecuencia nos encontramos con un costo financiero bajo, dado que esta inversión contribuye a mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo, cuando los las piezas de recambios tardan mucho tiempo en ser utilizados, estamos frente a un costo financiero alto, ya que no produce ningún beneficio para la empresa. Dentro de estos costos financieros debe tenerse en cuenta el costo que supone tener ciertas instalaciones o máquinas duplicadas para obtener una mayor fiabilidad, para ello es necesario montar en paralelo una máquina o instalación similar que permita la reparación de una de ellas, mientras que la otra sigue funcionando. El costo de esta duplicidad suele no tenerse en cuenta a la hora de los cálculos de los costos de mantenimiento.

**5.1.4. Costo por falla.** Estos costos generalmente implican una mayor significación pecuniaria, premisa que se cumple tanto para empresas productivas como para empresas de servicios.

El costo por falla se refiere al costo o pérdida de beneficio que la empresa tiene por causas relacionadas directamente con mantenimiento.

- **Empresas de Servicios.** En estos casos es difícil cuantificar el costo de la falla, no obstante pueden tomarse indicadores como el tiempo necesario para realizar las reparaciones y el tipo de avería, cualificándolas. En este tipo de empresa la falta de producción no será un factor dominante del costo de falla, sin embargo puede tener efectos indirectos como por ejemplo: si en una confitería falla continuamente la iluminación o se rompe con frecuencia la cafetera o la caja registradora, el costo por falla puede originar la pérdida de clientela e imagen.

Otro ejemplo representativo puede ser: una empresa de transporte de carga, a la cual no se le realiza el correspondiente mantenimiento preventivo, y por tal motivo los medios de carga (camiones, aviones, barcos) sufren fallas periódicas, lo que ocasiona el retraso en las entregas de las mercaderías, no permitiendo cumplir con los contratos, teniendo que pagar multas y perdiendo clientela.

**5.1.5. Costo total de mantenimiento.** Si sumamos estos cuatro costos: fijos, variables, financieros y los que se producen por falla, obtendremos el Costo Total de Mantenimiento, este costo nos dará una idea global de la gestión de mantenimiento.

$$CTT = \text{Costo Total de Mantenimiento} \quad CTT = CFJ + CV + CFN + CFA$$

## 6. DESCRIPCION DEL EQUIPO MOTOR DE LA PTAP

Tabla 3. Descripción del equipo motor de la PTAP

MOTORES SIEMENS 3F INDUCCION- IMPULSORES PTAP							
CANT	HP/KW	V	I	RPM	COS	CLASE AISLANTE	F
1	48	220/440	120/60	3540	0.87	B	60 HZ
1	48	220/440	120/60	3540	0.87	B	60 HZ
1	50/37,3	220/440	124	3535	0.88	B	60 HZ
1	30,07/22,4	220/440	80/40,5	3540	0.88	F	60 HZ
1	30,07/22,4	220/440	80/40,5	3540	0.88	F	60 HZ
1	28	220/440		3000	0.88	F	60 HZ

CIRCUITO 1-  
BELLAVISTA

CIRCUITO 2-  
LAS  
CRUCES

Figura 6. Equipo motor circuito Bellavista



Figura 7. Motor numero 2, circuito Bellavista



Figura 8. Motor numero 3, circuito Bellavista



Figura 9. Equipo motor circuito Cruces



Figura 10. Motor numero 1, circuito Cruces





Figura 11. Motor numero 2, circuito Cruces



Figura 12. Motor numero 3, circuito Cruces



Figura 13. Tablero de control de motores



Figura 14. Celda de protecciones del grupo motor





Figura 15. Banco de condensadores del grupo motor

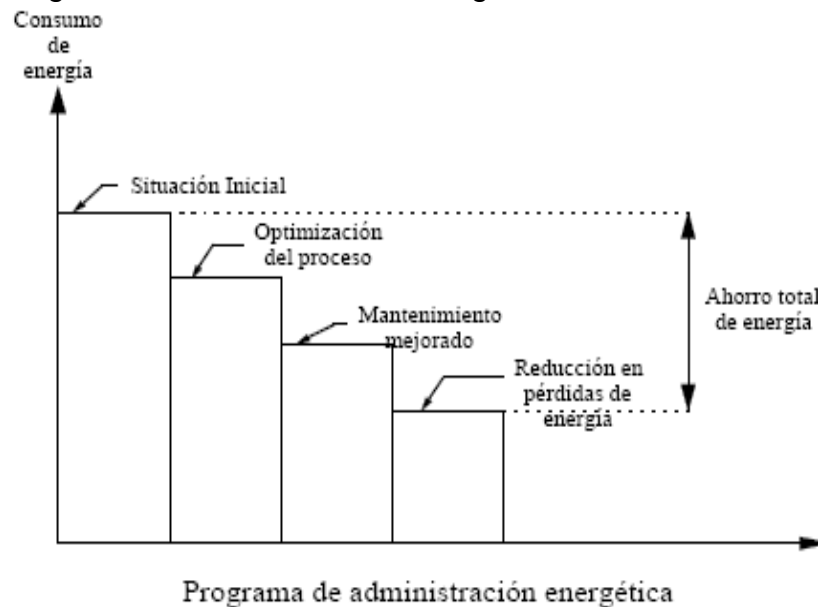


## 7. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA PTAP

### 7.1. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DIRIGIDO A LA EFICIENCIA

Al llevar a cabo cualquier programa de administración energética se debe prestar mucha atención a los aspectos operacionales y de mantenimiento. En la Figura 16 se muestra la influencia de un programa de administración energética en el consumo de energía.

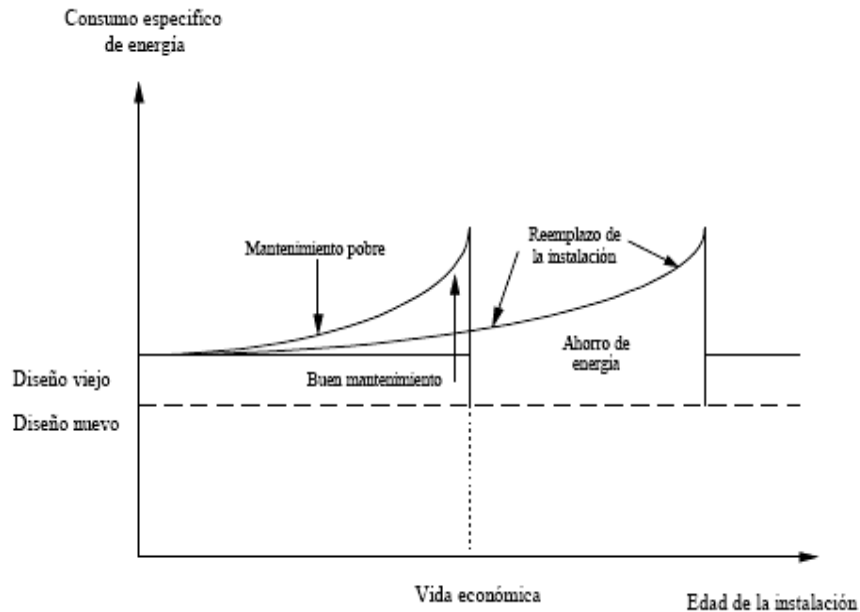
Figura 16. Programa de administración energética vs. Consumo de energía.



Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Mantenimiento dirigido a la eficiencia, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 34. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

Un buen mantenimiento mantendrá el consumo de energía dentro de un límite razonable, hasta que termine la vida útil de la planta. Un reemplazo a tiempo por una nueva, más eficiente en el diseño energético disminuirá el consumo de energía en su nivel original. En la Figura 17 se muestra la relación entre el consumo específico de energía en la planta y la vida útil de la misma.

Figura 17. Efecto del mantenimiento sobre el consumo de energía.



Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Mantenimiento dirigido a la eficiencia, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 35. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

Existen cinco dimensiones para elaborar un Programa de Mantenimiento dirigido a la eficiencia (OMETA) (Operation, Maintenance, Engineering, Training and Administration).

- ✚ Operación.
- ✚ Mantenimiento.
- ✚ Ingeniería.
- ✚ Entrenamiento.
- ✚ Administración.

### 7.1.1. Operación.

- Administración: Para asegurar la implementación y el control efectivo de las actividades de operación.
- Procedimientos de operación: Para asegurar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de los procesos operacionales.

- Control del equipamiento: para conocer el estado de la capacidad técnica de los equipos.
- Conocimiento: Para asegurar que el conocimiento del operador es capaz de garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de la operación.

#### **7.1.2. Mantenimiento.**

- Administración: Para asegurar la implementación y el control efectivo de las actividades de mantenimiento.
- Procedimientos de mantenimiento: Para asegurar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de los procesos de mantenimiento.
- Selección adecuada del tipo de mantenimiento: para garantizar el óptimo estado de la capacidad técnica de los equipos.
- Conocimiento: Para asegurar que el conocimiento del mantenedor y el supervisor es capaz de garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de la actividad de mantenimiento.
- Documentación Para asegurar que las indicaciones y las actuaciones son apropiadas para garantizar la seguridad y la eficiencia del trabajo de mantenimiento.

#### **7.1.3. Soporte de ingeniería.**

- Administración del soporte de ingeniería: Para asegurar la efectividad de la implementación y el control de las tecnologías y técnicas de soporte de ingeniería al mantenimiento y la operación.
- Modificaciones al equipamiento: Para asegurar los diseños, revisiones, control, implementaciones en los cambios de diseño realizados en el tiempo al equipamiento.
- Monitoreo del comportamiento de los equipos: Para monitorear las actividades que optimizan la confiabilidad y eficiencia de los equipos.
- Procedimiento y documentación del soporte de ingeniería: Para asegurar que el soporte de ingeniería se conduce en la dirección apropiada y que garantizan la eficiencia y confiabilidad del equipamiento.

#### **7.1.4. Entrenamiento.**

- Administración: Para asegurar la efectiva implementación y control de las actividades de entrenamiento.
- Entrenamiento global de planta: Para lograr que el personal de planta tenga un entendimiento general de sus responsabilidades generales, las practicas de

seguridad, salud ocupacional, los procesos, para realizar una operación segura, confiable y eficiente.

- Entrenamiento en materiales y el equipamiento de operación: Para asegurar que el conocimiento sobre los materiales y el equipamiento permite una operación y mantenimiento seguro, confiable y eficiente.
- Entrenamiento operacional: Para desarrollar y mejorar el conocimiento y habilidades necesarias para ejecutar las funciones de mantenimiento.
- Entrenamiento en Mantenimiento: Para desarrollar y mejorar el conocimiento y habilidades necesarias para ejecutar las funciones de mantenimiento.

#### **7.1.5. Administración.**

- Organización y Administración: Para asegurar la alineación de las actividades de operación y mantenimiento con los objetivos y estrategias de la empresa.
- Objetivos de gestión: Para lograr el mejoramiento continuo de la gestión de operación y de mantenimiento del equipamiento.
- Gestión de aseguramiento: Para asegurar mediante el monitoreo la identificación y actuación oportunas sobre el equipamiento y los procesos.
- Planeación y calificación del personal: Para asegurar que el personal asignado a cada posición cuenta con las competencias requeridas.
- Seguridad Industrial: Para desarrollar y alcanzar un alto grado de seguridad personal y social.

**7.1.6. El programa de mantenimiento propuesto para la PTAP.** Puede incluir los siguientes puntos:

❖ Implementación de una Hoja de Vida por equipo motor, en la cual estarán especificadas cada una de sus características técnicas operacionales, teniendo en cuenta la información suministrada en el manual de uso y mantenimiento original de los equipos y sistemas, y si no fuera posible, contactando a el fabricante SIEMENS por si dispone de alguno similar, aunque no sea del modelo exacto. Este Tipo de información está disponible en la página electrónica de esta empresa.

La siguiente información o datos son los mínimos que debe llevar la hoja de vida de cada equipo.

- Nombre o marca registrada del fabricante
- Modelo
- Potencia nominal en Kw (cp.).
- Tensión nominal en volts.

- Corriente nominal a carga plena en amperes.
  - Corriente a factor de servicio.
  - Frecuencia eléctrica en Hz.
  - Monofásico o trifásico.
  - Frecuencia de rotación a carga plena en r/min o min-1
  - Diagrama de conexiones.
  - Factor de servicio.
  - Tipo servicio (continuo o intermitente).
  - Clase de aislamiento.
  - Máxima temperatura ambiente.
  - La eficiencia nominal a carga plena en por ciento (2 dígitos enteros y 1 decimal)
  - Sistema de lubricación y característica del lubricante.
  - Características de rodamientos o cojinetes.
  - Número de serie.
  - Peso del motor en Kg.
  - Sentido de rotación del eje o flecha.
- ❖ Establecer un manual mínimo de buen uso para los operarios de la máquina, que incluya la limpieza del equipo y el espacio cercano, en la sala de maquinas se observo que no se tiene en cuenta esta disposición, se encontraron equipos y espacios descuidados sin remover el polvo ni la suciedad acumulada sobre ellos. Ver figura 18

Figura 18. Motor con suciedad acumulada



❖ Comenzar de inmediato la creación de un Historial de averías e incidencias, registrando cada evento en una hoja electrónica, referenciando equipo afectado, fecha y hora del suceso, problema presentado, Numero de horas de salida del motor (paro), acción para contrarrestar el problema, equipos y/o materiales utilizados para subsanar la avería o en su defecto la remisión al personal externo calificado para solucionar dicho problema.

❖ Establecer una lista de puntos de comprobación, el personal de turno debe registrar como niveles de lubricante, temperatura, voltaje, etc., así como sus valores, tolerancias y la periodicidad de comprobación, en horas, días, semanas, etc. En la PTAP se realizaron mediciones quincenales de corriente en las fases de los seis motores.

Tabla 4. Datos de corriente del equipo motor de la PTAP

MOTOR	CIRCUITO	FECHA	HORA	I (AMP) FASE 1	I (AMP) FASE 2	I (AMP) FASE 3
M1	Bellavista	14/11/2007	9:45 A.M.	27	26	28
M2	Bellavista	14/11/2007	9:51 A.M.	31	30	28
M3	Bellavista	14/11/2007	9:57 A.M.	30	33	31
M1	Las Cruces	14/11/2007	10:04 A.M.	14	14	14
M2	Las Cruces	14/11/2007	10:10 A.M.	14	14	14
M3	Las Cruces	14/11/2007	10:14 A.M.	14	14	14
M1	Bellavista	28/11/2007	8:12 A.M.	28	26	28
M2	Bellavista	28/11/2007	8:15 A.M.	31	32	28
M3	Bellavista	28/11/2007	8:20 A.M.	30	33	31
M1	Las Cruces	28/11/2007	8:26 A.M.	14	14	14
M2	Las Cruces	28/11/2007	8:29 A.M.	14	14	14
M3	Las Cruces	28/11/2007	8:35 A.M.	14	14	14

Tabla 5. Frecuencias de mantenimiento

DESCRIPCIÓN	COMENTARIOS	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO			
		D	S	M	A
Uso del motor/secuencial.	Apagar/secuencia innecesaria en el equipo.	X			
Inspección visual global.	Completar la inspección visual global, estar seguros que todo el equipo esté operando y los sistemas de seguridad esté en su lugar.		X		
Condición del motor.	Revisar la condición del motor a través de la temperatura o análisis de vibración y comparar con los valores línea base.		X		
Revisar lubricación.	Asegurar que todos los rodamientos estén lubricados según las recomendaciones del fabricante.			X	
Revisar empaques.	Revisar empaques ver si hay desgastes y reponer cuando sea necesario. Considerar el reemplazo de empaques como sellos mecánicos.			X	
Alineamiento del motor.	Alinear el acoplamiento del motor permite una eficiente transferencia de esfuerzo de torsión a la bomba.			X	
Revisar montajes.	Revisar y asegurar todos los montajes del motor.			X	
Revisar ajuste en terminales.	Apretar las terminales de las conexiones cuanto sea necesario.			X	
Limpieza.	Remover polvo y suciedad del motor para facilitar el enfriamiento.			X	
Revisión rodamientos.	Inspeccionar rodamientos y las correas de impulsión para saber si hay desgastes. Ajustar, reparar o reemplazar cuanto sea necesario.				X
Condición de motor.	Revisar la condición del motor a través de la temperatura o análisis de vibración asegura larga vida.				X
Comprobar si la energía trifásica está equilibrada.	La energía desbalanceada puede acortar la vida del motor con la acumulación excesiva del calor.				X
Comprobar si hay condiciones de sobre-tensión o de bajo-voltaje.	Sobre o el bajo-voltaje acorta la vida del motor con la acumulación excesiva del calor.				X

Fuente: Motores eléctricos de inducción, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 120. Disponible en internet:  
<http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>



❖ Clasificar cada equipo de acuerdo al tipo de mantenimiento que se le va a brindar. Una vez conocidos los tipos de mantenimiento es necesario tener un criterio de a qué equipos les aplicaremos, uno u otro, o un sistema alternativo, y que no todos tienen igual importancia en la calidad y disponibilidad en el proceso.

Tabla 6. Aspectos selectivos del mantenimiento

I. ASPECTOS SELECTIVOS				
		A	B	C
1	<b>Intercambiabilidad</b> Representa la posibilidad que tiene la máquina de ser sustituida por otra.	<b>Máquinas Irreemplazable</b> Su labor no puede ser sustituidas por otras máquinas	<b>Máquinas Reemplazable</b> Su labor se sustituye por 1 o 2 máquinas	<b>Intercambiable</b> Su labor se sustituye por varias máquinas.
2	<b>Importancia Productiva</b> Representa la necesidad de la máquina para la producción.	<b>Imprescindible</b> Cuando su parada afecta a más del 50% del proceso productivo.	<b>Limitantes</b> Cuando su parada afecta a más entre el 10% a 50% de la producción.	<b>Convencionales</b> Cuando su parada afecta a 10% menos de la producción.
3	<b>Régimen de Operación</b> Representa la participación de la máquina en el proceso productivo.	<b>Régimen Continuo</b> Las máquinas participan en líneas continuas.	<b>Régimen Seriado</b> Las máquinas son utilizadas para producir series de artículos.	<b>Régimen Alternado</b> Las máquinas tienen poca participación en el proceso productivo
4	<b>Nivel de Utilización</b> Representa la capacidad a que son utilizadas las máquinas.	<b>Muy Utilizados</b> Cuando las máquinas se utilizan al máximo de su capacidad durante gran parte del tiempo de trabajo.	<b>Utilización Media</b> Cuando las máquinas son utilizadas, pero no al máximo de su capacidad.	<b>Uso Esporádico</b> Cuando las máquinas raras veces se utilizan al máximo de su capacidad.
5	<b>Nivel de Consumo Energético</b> Respecto al total de la empresa por tipo de portador energético.	<b>Alto</b> >5% Equipos >20% Líneas o sistemas	<b>Medio</b> >3% y 5% Equipos < 20% y >5% Líneas o sistemas.	<b>Bajo</b> <3% Equipos <5% Líneas o sistemas.

<sup>1</sup> Método publicado en la separata SIME Feb. 1992

Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Generalidades, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 14. Disponible en internet:  
<http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

Tabla 7. Aspectos directivos del mantenimiento

Con estos datos se conforma una tabla cualitativa por máquinas o equipos.

Equipo 6.V.

PARÁMETRO	A	B	C
1	X		
2		X	
3			X
4		X	
5	X		
Total			X

No hay definición: Se pasa a otros aspectos

## II. ASPECTOS DIRECTIVOS

		A	B	C
6	<b>Parámetro Principal</b> En este caso se escogerá un parámetro característico que influya en la producción.	<b>Elevada Precisión</b> Cuando la exactitud de la máquina permita tolerancias entre 0.01 y 0.05 mm	<b>Precisión Media</b> Cuando la exactitud de la máquina permita tolerancias entre 0.05 y 0.10 mm	<b>Baja Precisión</b> Cuando la máquina permita tolerancias mayor que 0.10 mm
7	<b>Mantenibilidad</b> Representa la facilidad que brinda la máquina para realizarle operaciones de mantenimiento	<b>Alta Complejidad</b> Cuando se hace difícil acceder a las diferentes zona de la máquina para realizarle un mantenimiento.	<b>Media Complejidad</b> Cuando el acceso no es tan difícil en los elementos que componen la máquina.	<b>Baja Complejidad</b> Cuando la máquina es de fácil acceso.
8	<b>Conservabilidad</b> Este aspecto representa la sensibilidad de la máquina al medio ambiente bajo las cuales debe operar la máquina, es decir, las condiciones del local	<b>Condiciones Especiales</b> Cuando requieren que el local tenga condiciones especiales de temperatura, de humedad relativa, local cerrado, etc.	<b>Protegida</b> Cuando las máquinas requieren que el local posea condiciones normales, como por ejemplo, techos, paredes, etc	<b>Normal</b> Cuando las máquinas pueden ser sometidas a condiciones severas, de temperatura, humedad relativa, corrosión.
9	<b>Automatización</b> Representa el grado de libertad que tiene la máquina para trabajar sin el hombre	<b>Automática</b> Cuando la máquina trabaja sin la presencia directa del hombre.	<b>Semiautomática</b> Cuando una parte de las funciones las realiza automáticamente, pero en otras el hombre.	<b>Mecánica</b> Cuando la máquina opera manualmente en su totalidad.

Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Generalidades, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 15. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

Tabla 8. Aspectos generales del mantenimiento y clasificación de equipos

III. ASPECTOS GENERALES.				
		A	B	C
10	<b>Valor de la Maquina</b> Representa el precio e incidencia de la gestión económica.	<b>Alto</b> El valor de la máquina es elevado.	<b>Promedio</b> El valor de la máquina es moderado.	<b>Bajo</b> El valor de la máquina es barata.
11	<b>Factibilidad de Aproveccionamiento</b> La factibilidad de proveerla desde el punto de vista técnico y de materiales.	<b>Abastecimiento Malo</b> Deficiente aprovisionamiento de piezas y materiales.	<b>Regular</b> Se satisfacen algunas necesidades pero no todas.	<b>Bueno</b> Cuando el abastecimiento de piezas y materiales es adecuado.
12	<b>Seguridad Operacional</b> Representa la seguridad en el funcionamiento de la máquina, es decir, en que medida puede afectar al operario.	<b>Peligrosa</b> Cuando la máquina no brinda seguridad alguna al trabajador.	<b>Influyente</b> Cuando la máquina brinda cierta seguridad al trabajador, pero no todo lo que se requiere.	<b>Poco Influyente</b> Cuando la máquina ofrece plena seguridad al trabajador y solo la negligencia humana puede provocar accidente.

Una vez realizada la tabla total se sigue la siguiente política de mantenimiento a aplicar:

IV. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS				
		A	B	C
1	<b>Mantenimiento Predictivo</b>	Es el tipo de mantenimiento preferencial en este tipo de máquinas para prevenir las fallas. Es necesario utilizar equipos sofisticados y costosos. Personal calificado.	Prácticamente se descarta por lo costoso que resulta, aunque pueden ejecutarse acciones económicas que tengan buena efectividad en la detección de averías.	No tiene razón de ser por sus costos elevados.
2	<b>Mantenimiento Preventivo</b>	Cuando no se puede aplicar el predictivo es el mantenimiento que debe prevalecer, con periodicidad calculada para evitar fallos. Aplicar con frecuencia inspecciones, lubricación, ajustes y reglajes	Se aplica siempre y cuando se justifique por razones técnico-económicas para establecer la frecuencia más adecuada. Su frecuencia e intensidad será un poco menor que para el caso de máquinas tipo A	Se realizan acciones mínimas relacionadas básicamente con operaciones de engrase y pintura.
3	<b>Mantenimiento Correctivo</b>	Este tipo de mantenimiento debe ser evitado al máximo. De ocurrir un fallo imprevisto debe dársele prioridad. Debe llevarse un registro exacto de fallos ocurridos, para poder tomar medidas preventivas	Hay mayor libertad en esta categoría que en la A, admitiéndose correcciones que están dentro de la holgura de la máquina. Su prioridad depende de la criticidad de la máquina según el plan de producción	Es el mantenimiento por excelencia para estas máquinas, pues existe holgura para poder ejecutarlo.

Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Generalidades, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología "Francisco José de Caldas", Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 16. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

Establecer un Plan-Programa de Lubricación de la misma forma, comenzando con plazos cortos, analizando resultados hasta alcanzar los plazos óptimos.

- Por simple o complicada que sea una máquina siempre requerirá ser lubricada.
- Todo elemento o mecanismo que genere un movimiento requiere de un lubricante.
- Las funciones básicas de un lubricante son: reducción de la fricción, disipación del calor y dispersión de los contaminantes. El diseño de un lubricante para realizar estas funciones es una tarea compleja, que involucra un cuidadoso balance de propiedades, tanto del aceite de base como de los aditivos.

Tabla 9. Funciones del Lubricante

En la Tabla siguiente se presentan alguna de las funciones de los lubricantes.

PROBLEMA	EFFECTO	FUNCION LUBRICANTE
Fricción	Calor, desgaste, ruido	Disminuir fricción.
Desgaste	Juego, ruido, limadura	Evita desgaste
Calor	Oxidación, recalentamiento	Refrigerar
Oxidación	Daño aceite y equipo	Controla oxidación
Contaminación	Depósitos, desgaste, tapo	Mant. Cont. dispe
Tensión eléctrica	Cortos, perdida de potencia, oxidación	Aislante eléctrico
Trasmisión de potencia	Respuesta lenta	Trasmisión potencia
Golpes	Deformación, rompimiento	Amortigua
Juegos	Paso aceite	sellar

Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Importancia de la lubricación en el mantenimiento, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p.45. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

❖ **Grasas lubricantes.** Un aspecto que debe considerarse cuidadosamente al estudiar una aplicación de rodamientos de bolas es la grasa que va a utilizarse para la lubricación. Hay grasas de uso general que pueden satisfacer los requisitos de la mayor parte de aplicaciones, pero existen casos especiales que pueden requerir una grasa con mayor grado de penetración o mayor resistencia a la temperatura. Se tienen siete grados de grasas, clasificadas conforme a su penetración para uso en rodamientos. Los grados van del 0 al 6, y el más utilizado es el 2.

❖ **Duración y vida útil de los Rodamientos.** Los factores que incluyen en la duración o vida útil de los rodamientos son como sigue:

- La velocidad de rotación a la que va a operar un rodamiento es el primer factor que afectará a su duración.

En los catálogos de los fabricantes de rodamientos se especifica la velocidad máxima a la que puede trabajar cada elemento. Este factor se hace más crítico a medida que aumenta el diámetro interior del cojinete.

- Las cargas axial y radial que soporta el rodamiento afectan de manera considerable su vida útil. De hecho, la duración es inversamente proporcional al cubo de la carga. La carga radial puede incluir la resultante de un desalineamiento cuando el equipo impulsado está acoplado (conectado directamente), lo cual pocas veces se toma en consideración.

- La vibración del conjunto motor-carga impulsada puede acortar en forma notable la duración de los rodamientos. Por ejemplo, en los motores utilizados para mover los ventiladores de enfriamiento forzado de un transformador, la vibración de éste, transmitida al motor a través de los radiadores, puede dañar las pistas de los rodamientos, en especial cuando el motor está en reposo.

- Los ajustes, tanto en el montaje del rodamiento sobre el eje (o flecha) como en su alojamiento en la tapa lateral del motor, deben hacerse con precaución, siguiendo las recomendaciones del fabricante, pues de otra manera puede reducirse el claro interno, si el ajuste sobre el eje es demasiado estrecho, o bien puede introducirse una precarga radial si el ajuste en el alojamiento es mayor que el indicado.

- El entorno del motor puede ejercer una gran influencia en la duración de los rodamientos, en especial si el motor se instala en un medio particularmente adverso o contaminante. Si el diseñador del motor sabe esto de antemano, puede especificar una construcción adecuada para evitar, hasta donde sea posible, la penetración de contaminantes en los rodamientos.

- La temperatura de operación del motor es también un factor crítico para la duración de un rodamiento. Ver Figura 19. Si el motor trabaja en condiciones de sobrecarga o expuesto a una temperatura ambiental excesiva, el devanado no es lo único que sufrirá las consecuencias, sino también la grasa lubricante de los rodamientos, cuya duración efectiva se verá reducida.

Figura 19. Nivel y temperatura del aislamiento

**Relación Temperatura - Viscosidad.**

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO		Viscosidad del Lubricante a 38°C (100°F) (SSU)
VELOCIDAD, RPM	TEMPERATURA, °C (°F)	
Inferior a 300	Inferior a -7(20)	300*
300 a 2000	Inferior a -7(20)	150*
Superior a 2000	Inferior a -7(20)	150*
Inferior a 300	-7 a 66 (20 a 150)	600
300 a 2000	-7 a 66 (20 a 150)	300
Superior a 2000	-7 a 66 (20 a 150)	150
Inferior a 300	66 a 121 (150 a 250)	1800
300 a 2000	66 a 121 (150 a 250)	600
Superior a 2000	66 a 121 (150 a 250)	300

\* El Punto de fluidez del aceite deberá ser inferior a la temperatura de operación.

Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Importancia de la lubricación en el mantenimiento, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 51. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

❖ Realizar un monitoreo de condiciones de los equipos.

A continuación se enumeran algunos de los tipos de monitoreo que se le pueden realizar a una máquina:

- Vibraciones.
- Ultrasonido.
- SPM y medición ruido.
- Mediciones de temperatura y eficiencia.
- Análisis de Aceites.
- NDT pruebas no destructivas.
- Termografía.
- Detección de fugas.

Los problemas generales en las máquinas son:

- Vibración
  - ✓ Desbalanceo de rodillos.
  - ✓ Estructuras sueltas.
  - ✓ Estructuras rígidas.
  - ✓ Frecuencia de la tela.
- Tornillos rotos
  - ✓ Vibración de la máquina.
  - ✓ Desbalanceo de rodillos.
  - ✓ Altas temperaturas.
- Ruido elevado
  - ✓ Accesorios sueltos.
  - ✓ Ruptura interna del equipo.
  - ✓ Backlash de los engranajes.
- Estructuras partidas
  - ✓ Desbalanceo de rodillos.
  - ✓ Accesorios sueltos.

## **7.2. ANALISIS O PRUEBAS A REALIZAR EN LOS MOTORES DE LA PTAP**

**7.2.1. El análisis de vibraciones.** Es el primer método aplicado en el mantenimiento predictivo, aunque su validez es limitada para la detección de fallos eléctricos, la mayor parte de las anomalías mecánicas en las máquinas rotativas pueden ser diagnosticadas, si se efectúa un correcto análisis de su espectro de vibración. Existen imperfecciones que hacen que siempre estén sometidas a un cierto nivel de vibración.

El análisis frecuencial se ha mostrado eficaz, para el diagnóstico de averías de tipo mecánico, desequilibrio, desalineaciones, degradación de cojinetes.

No obstante es difícil a partir de un análisis de vibraciones el poder determinar la presencia de averías de tipo eléctrico como la rotura de barras del rotor, o el cortocircuito de espiras de las bobinas del estator.

Otro inconveniente del diagnóstico por análisis de vibraciones, radica en la necesidad de incorporar en la máquina los acelerómetros necesarios para poder obtener la señal a monitorizar.

❖ **Pruebas de Ultrasonido.** Detecta sonidos de alta frecuencia, producidos por equipo en funcionamiento, fugas y descargas eléctricas.

- Por medio de la Heterodinación, los pasa a la gama audible para el usuario.
- Por medio de audífonos y visualmente como aumentos de intensidad en el medidor pueden ser fácilmente analizados

❖ **Ventajas del Ultrasonido.**

- Detección en la etapa más incipiente de la falla de un rodamiento.
- Un solo punto de prueba y requiere de poco entrenamiento.
- Exclusiva sintonización de frecuencias sin importar señales circundantes.
- Detecta fugas de presión y vacío, funcionamiento de trampas de vapor, desgastes de cojinetes, engranajes y transmisiones, inspecciones eléctricas, ruido, etc.

❖ **Interpretación de Resultados.**

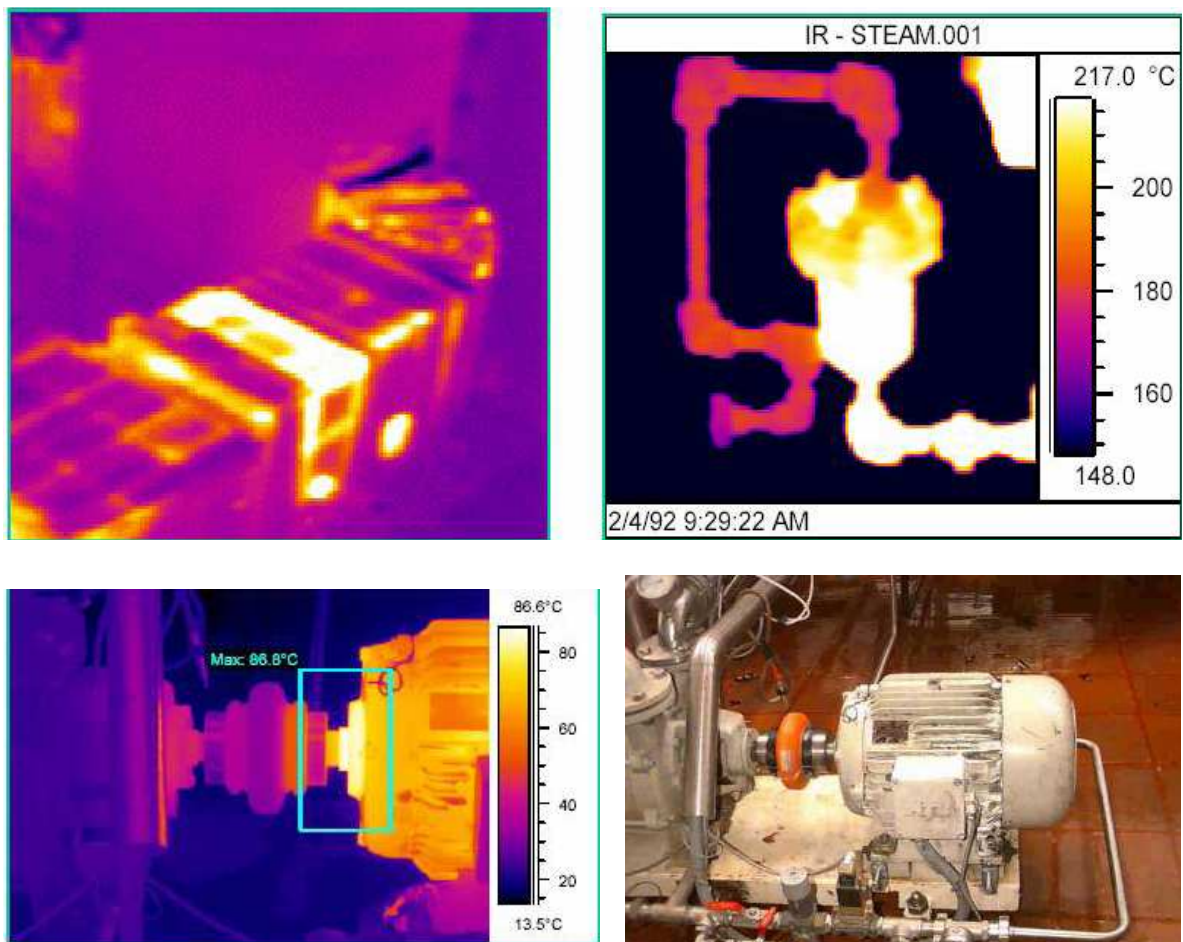
- Establezca límites de control según el método de análisis seleccionado, y elabore una línea base para cada máquina.
- Elabore patrones de falla, planes de acción según la condición encontrada y las tendencias de los análisis.
- Mejore las frecuencias de lubricación

**7.2.2. Termografía.** La Termografía Infrarroja es una técnica de mantenimiento Preventivo y Predictivo que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos. Algunas de las fallas que se pueden encontrar con este tipo de medición es: conexiones deficientes, puntos calientes, desgaste de refractarios, operación de trampas etc. Ver figura 20. Este tipo de mantenimiento se puede realizar mínimo una vez al año.



Figura 20. Prueba de termografía a un motor trifásico



Fuente: Mantenimiento en la gestión energética: Diagnostico de maquinaria, [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. p. 59. Disponible en internet: <http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

En la PTAP se había realizado termografía en años anteriores, pero no se tuvo en cuenta realizarla sobre el grupo motor, solamente se realizo este análisis en los tableros de potencia, la subestación, banco de condensadores y equipos de protección. Esta prueba fue realizada por la firma APROI.

Tabla 10. Informe de inspección termográfica a la PTAP- Cuadro de fallas

## INFORME DE INSPECCION TERMOGRAFICA

### PLANTA ACUEDUCTO YUMBO

CLO - 1307

#### CUADRO DE FALLAS

No	Equipo	Problema	Localizacion	Calificacion
01	Pararrayo	Grapa Conectora del p	Acometida Trafó Z	SEVERA
02	Transformador 75 KVA	Secundario Fase Z	Nodo traf 12371 es	INTERMEDIA
03	BRK 100 Amp. Motor # 3	Bornes de Entrada y	Cuarto de Bombas	MENOS GRAVE
04	BRK 100 Amp. del Motor	Bornes de Entrada L1	Cuarto de Bombas	SEVERA
05	BRK 50 Amp. del Motor 1	Borne de Salida L1	Cuarto de Bombas	INTERMEDIA
06	BRK 75 Amp. Tablero Ma	Bornes de Entrada y S	Cuarto de Bombas	CRITICA
07	Conjunto de Ctor K3 y Te	Ajuste Deficiente entre	Cuarto de Bombas	CRITICA
08	CTOR del tablero mando 1	Bornes de Entrada y S	Cuarto de Bombas	CRITICA
09	BRK1 BRK 2 BRK 3 BRK	Bornes de Salida	Cuarto de Bombas	CRITICA

Fuente: Secretaria de Infraestructura del Municipio de Yumbo. Informe de inspección termografica planta de acueducto Yumbo. Yumbo, 2005.

Tabla 11. Informe de inspección termográfica a la PTAP- Escalas de calificación

ESCALAS DE CALIFICACION	
Las Tablas para fallas en Baja y Alta Tensión, calculadas y desarrolladas por nuestra empresa, están supervisadas por el departamento técnico de la FLYE SYSTEMS;	
TABLA PARA FALLAS EN ALTA TENSION	
INCREMENTO	CALIFICACION
< a 10°C	Intermedia
10 a 20°C	Menos Grave
20 a 30°C	SEVERA
30 a 40°C	CRITICA
> a 41°C	MUY CRITICA
TABLA PARA FALLAS EN BAJA TENSION	
INCREMENTO	CALIFICACION
< a 5 °C	Normal
5 a 10°C	Menor
11 a 20°C	Intermedia
21 a 30°C	Menos Grave
31 a 50°C	SEVERA
51 a 65°C	CRITICA
> a 66°C	MUY CRITICA

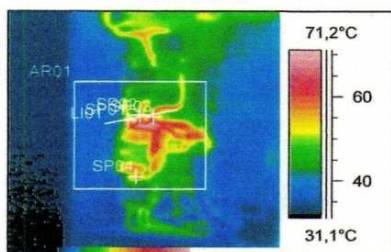
Fuente: Secretaria de Infraestructura del Municipio de Yumbo. Informe de inspección termografica planta de acueducto Yumbo. Yumbo, 2005.

Figura 21. Informe de inspección termográfica PTAP

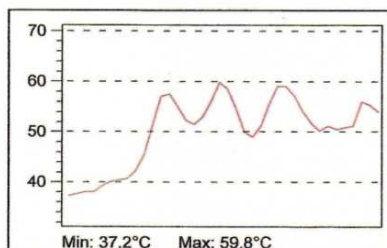
## INFORME DE INSPECCION TERMOGRAFICA PLANTA ACUEDUCTO YUMBO



FOTOGRAFIA



ISOTERMA



GRAFICA DE PERFIL

### Estudio No. CLO - 1307

IR information	Value
Date of creation	11/09/2005
Time of creation	12:30:34 a.m.
File name	I0000000.008
Imager lens	20
Imager filter	NOF
Imager sens/span value	6
Object parameter	Value
Emissivity	0,98
Object distance	2,0 m
Ambient temperature	32,0°C

Label	Value
SP01	58,3°C
SP02	58,0°C
SP03	60,0°C
SP04	58,3°C
AR01 : max	71,4°C
AR01 : min	35,2°C

Calificación	CRITICA (32.3)
--------------	----------------

Equipo	CTOR del tablero mando Motor No 1
Problema	Bornes de Entrada y Salida
Localizacion	Cuarto de Bombas
Causa averia	Elementos de Ajuste Deficiente
Accion a tomar	Mantenimiento general
Observación	



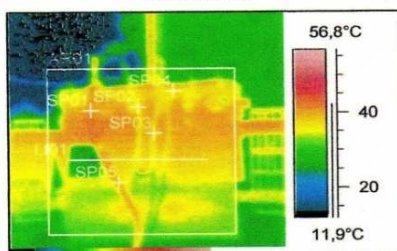
Fuente: Secretaria de Infraestructura del Municipio de Yumbo. Informe de inspección termografica planta de acueducto Yumbo. Yumbo, 2005.

Figura 22. Informe de inspección termográfica PTAP

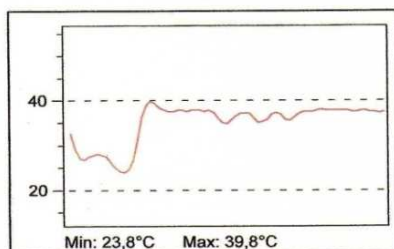
## INFORME DE INSPECCION TERMOGRAFICA PLANTA ACUEDUCTO YUMBO



FOTOGRAFIA



ISOTERMA



GRAFICA DE PERFIL

Estudio No. CLO - 1307

IR information	Value
Date of creation	11/09/2005
Time of creation	10:05:25 a.m.
File name	I0000000.002
Imager lens	7
Imager filter	SRX
Imager sens/span value	5
Object parameter	Value
Emissivity	0,98
Object distance	9,0 m
Ambient temperature	32,0°C

Label	Value
SP01	41,2°C
SP02	35,7°C
SP03	36,7°C
SP04	36,5°C
SP05	39,4°C
AR01 : max	42,3°C
AR01 : min	11,9°C

Calificación	INTERMEDIA (8.4)
--------------	------------------

Equipo	Transformador 75 KVA
Problema	Secundario Fase Z
Localizacion	Nodo traf 12271 emcali
Causa averia	Posible desbalance
Accion a tomar	Verificar medision de corriente en las tres fases
Observación	



Fuente: Secretaria de Infraestructura del Municipio de Yumbo. Informe de inspección termografica planta de acueducto Yumbo. Yumbo, 2005.

**7.2.3. Alineación.** Al menos el 50% del tiempo perdido en maquinas rotativas se debe al desalineamiento.

❖ **El desalineamiento es causa de:**

- Falla de rodamientos.
- Falla de ejes.
- Falla de sellos.
- Desgaste de acoples.
- Sobre calentamiento.
- Perdidas de energía.
- Alta vibración.

❖ **Equipos correctamente y cuidadosamente alineados generan:**

- Incremento en el tiempo de producción
- Disminución en el desgaste de sellos y rodamientos
- Disminución en el desgaste de acoples
- Disminución en la vibración
- Costos de mantenimiento menores

❖ **Alineamiento de Precisión.** No solamente es esencial un alineamiento de precisión, si no también realizarlo en el menor tiempo posible. El tiempo de parada de los equipos resulta costoso y causa pérdidas de producción.

En términos de precisión se pueden comparar los diferentes métodos existentes:

- Regla o “cuchilla”, 4mils o 0.1mm.
- Comparadores de carátula, 0.4mils o 0.01mm.
- Láser, 0.04mils o 0.001mm.

❖ **Alineación en Máquinas:**

- La tendencia actual de la industria es obtener mejor calidad a mayores velocidades.
- Sin embargo, mejorar la operabilidad de la maquina y alcanzar mayores velocidades de proceso, depende de una precisa alineación de los componentes de la maquina
- Alineación de ejes, acoples y poleas

- ✓ Transmisiones
- ✓ Ejes flotantes
- ✓ Line shafts
  
- Planitud, Rectitud
- ✓ Secciones de máquina
- ✓ Drenajes
- ✓ Doctor's

## 8. RECOMENDACIONES

- Revisión y lubricación de motores eléctricos. (De acuerdo al concepto del fabricante).
- Verificación de los voltajes y corrientes nominales. (Medición semanal).
- Revisión y ajuste de bornes eléctricos. (Procedimiento cada seis meses).
- Revisión de circuitos: contactos eléctricos, cableado y aislamiento. (Procedimiento anual).
- Revisión de la temperatura (Medición diaria).
- Revisión de vibración, ruidos en el motor eléctrico. (Procedimiento trimestral).
- Revisión de velocidad del motor. (Procedimiento mensual).
- Revisión de guarda motores y fusibles. (Procedimiento semestral).
- Revisión del aislamiento del motor. (Procedimiento semestral).
- Revisión de instrumentación eléctrica. (Procedimiento semestral).
- Informar oportunamente al ingeniero, jefe de operación y mantenimiento, las anomalías presentadas por evento.
- Implementar la automatización del proceso de bombeo y el control sistematizado del cuarto de maquinas.
- Es recomendable la instalación de un CCM (Centro de control de Motores) y de una actualización del sistema de protecciones.

Las condiciones que se enumeran a continuación, son factores que pueden afectar adversamente los motores eléctricos:

- ✓ Bajo voltaje
- ✓ Recierre automático de los circuitos de distribución, el cual es una maniobra normal que realiza la empresa de distribución para restaurar el suministro de electricidad rápidamente
- ✓ Desbalances en el nivel de tensión
- ✓ Pérdida de una fase del sistema
- ✓ Inversión de la fase
- ✓ Sobre corrientes
- ✓ Sobrecarga (Stalling)

Es posible que no sea necesario proteger sus motores contra todas estas condiciones, pero es recomendable buscar consejo profesional para proteger sus motores de una manera óptima y económica.



Cada dispositivo de protección está diseñado para servir a un propósito específico o satisfacer una necesidad especial. No hay ningún dispositivo de protección único, que por sí solo sea el remedio o la solución para todos los problemas.

- Establecer un programa de Uso eficiente de la Energía (URE), buscando disminuir o minimizar considerablemente los altísimos costos de operación de la planta mediante la corrección o ajustes a la eficiencia y por ende a la disminución de pérdidas de energía

## **9. CONCLUSIONES**

De acuerdo a la función tan importante que realiza el grupo motor perteneciente a la PTAP en el proceso de bombeo de agua potable para las zonas de ladera, es imprescindible que dichos equipos funcionen eficientemente, al 100% de su capacidad, las 24 horas del día, con un mínimo de paros debido a los diferentes tipos de fallas.

Determinamos que la herramienta primordial para alargar la vida de estos equipos es la implementación de un Programa de mantenimiento, en todos sus aspectos técnicos y organizacionales. No se debe esperar a que se presenten fallas por falta de prevención, por falta de mantenimiento a los equipos, hay que estar comprometidos con la seguridad y la eficiencia. El mantenimiento es fuente de disminución de pérdidas.

Desde el punto de vista académico, este trabajo presentado como opción de grado, me permitió obtener positivamente enfoques y experiencias formativas como futuro ingeniero electricista en los campos del mantenimiento, técnico, administrativo, tecnológico y valoración de recursos entre otros

## BIBLIOGRAFIA

CUESTA MENA, James. PUENTE, Joaquín Marino. Optimización del uso de la energía eléctrica en la estación de bombeo de agua potable “Bellavista”, de las empresas municipales de Cali. Santiago de Cali, 2004. 315 p. Trabajo de grado (Ingeniero Electricista). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenierías.

DUFFA, Salih; RAOUF A; CAMPBELL, John. Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. México: Limusa Grupo Noriega Editores Wiley, 2002. 419 p.

LAWRIE R.J. Biblioteca práctica de los motores eléctricos. España: Grupo editorial Océano/ Centrum, 1994. 389 p.

Mantenimiento de un motor de inducción [en línea]. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. Disponible en internet:  
[http://gaico.unitecnologica.edu.co/cursos/maquinas\\_ii/descargas/MANTENIMIENTO%20DE%20UN%20MOTOR%20JAULADEARDILLATRIF%C1SICO.pdf](http://gaico.unitecnologica.edu.co/cursos/maquinas_ii/descargas/MANTENIMIENTO%20DE%20UN%20MOTOR%20JAULADEARDILLATRIF%C1SICO.pdf)

Mantenimiento en la gestión energética [en línea]. Bogotá: UPME, Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, 2007. [Consultado 20 de Septiembre de 2007]. Disponible en internet:  
<http://www.virtual-tec.com/upme/documentos/mantenimiento.php>

Metas de un programa de mantenimiento [en línea]. Washington: DLI engineering corporation, 2007. [Consultado 19 de Septiembre de 2007]. Disponible en internet:  
<http://www.dliengineering.com/vibman-spanish/>

MORROW L. C. Manual de mantenimiento Industrial. 10 ed. México: CECSA, 1985. 256 p.

Programa de mantenimiento [en línea]. Madrid: Portal del mantenimiento industrial, 2007. [Consultado 02 de Agosto de 2007]. Disponible en internet: <http://www.solomantenimiento.com/articulos/programa-mantenimiento.htm>

RAMOND, Inc. Administración del Mantenimiento Industrial. México: Editorial Diana, 1982; 362 p.

Termografía [en línea]]. San José, Costa rica: Termogram, 2007. [Consultado 02 de Agosto de 2007]. Disponible en internet: [http://www.termogram.com/pdf/nov14\\_03/Paper\\_IEEE\\_Concapan\\_XXI.PDF](http://www.termogram.com/pdf/nov14_03/Paper_IEEE_Concapan_XXI.PDF)

TIMMER Roelof, HELINKO Mikko, ESKOLA Ritva. Optimización del rendimiento durante la vida útil de los motores. En: Revista técnica del grupo ABB. (Feb. 2007); p. 81-84

Tipos de mantenimiento [en línea]. Washington: DLI engineerin corporation ,2007. [Consultado 02 de Agosto de 2007]. Disponible en internet: <http://dliengineering.com/vibman-spanish/mantenimientofuncionarhastafallar.htm>